

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. М. Цибульский
подпись
« ____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка подсистемы геопространственного моделирования маршрутов
сельскохозяйственной техники систем агромониторинга СФУ

09.04.02 «Информационные системы и технологии»

09.04.02.01 «Информационно-управляющие системы»

Научный руководитель	_____	доц., канд. техн. наук	К. В. Раевич
	подпись, дата		
Выпускник	_____		А. Д. Жуков
	подпись, дата		
Рецензент	_____	доц., канд. пед. наук	С. А. Виденин
	подпись, дата		
Нормоконтролер	_____		К. В. Раевич
	подпись, дата		

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Обзор и анализ аналогов программ.....	7
1.1 Решение задачи расчета оптимальных маршрутов на Яндекс-картах	7
1.2 АРМ Курьер – автоматизированная система расчета оптимального маршрута между городскими объектами	10
1.3 Выводы по главе 1.....	13
2. Проектирование подсистемы	14
2.1 Задача геопространственного моделирования маршрутов.....	14
2.1.1 Функциональная модель	14
2.1.2 Содержательная модель	15
2.1.3 Концептуальная (формализованная) модель	15
2.2 Однородность поверхности	17
2.2.1 Содержательная модель	18
2.2.2 Концептуальная (формализованная) модель	18
2.3 SADT-модель подсистемы	22
2.4 Анализ существующих метрик.....	30
2.5 Use-case диаграмма.....	32
2.6 Диаграмма классов.....	33
2.7 Диаграмма пакетов.....	34
2.8 Блок-схема алгоритма А*	35
2.9 Выводы по главе 2.....	37
3. Разработка подсистемы	38
3.1 Используемые библиотеки.....	39
3.1.1 Класс MySQLLib	39
3.1.2 Алгоритм Брезенхема.....	42
3.1.2 Библиотека SharpMAP.....	43
3.2 Работа эксперта с подсистемой	44
3.3 работа ЛПР с подсистемой.....	48
3.3.1 Методика внесения оперативной информации	50
3.3.2 Алгоритм расчета маршрута.....	52
3.3.3 Расчет маршрута с учетом затрат ГСМ	56
3.3.4 Практическая апробация подсистемы	59
3.4 Выводы по главе 3.....	62
Заключение	64
Список сокращений	65
Список использованных источников	66
Приложение А Слайды презентации.....	71

ВВЕДЕНИЕ

В современное время широкое распространение получило использование спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения широкого спектра задач в интересах различных сфер хозяйственной деятельности. Достоинствами использования ДЗЗ является:

- актуальность данных на момент съемки (большинство картографических данных требуют обновления);
- высокая оперативность получения данных;
- высокая точность обработки данных за счет применения GPS-технологий;
- высокая информативность данных, возможность получения мелких деталей не различимых на обычных снимках за счет применения специальных съемок;
- экономическая целесообразность. Получение информации посредством ДЗЗ существенно ниже затрат на наземные полевые работы.

Одной из наиболее перспективных сфер применения ДЗЗ является сельское хозяйство. Актуальность применения ДЗЗ в сельском хозяйстве подтверждена Постановлениями Правительства РФ от 25.06.2013 № 1066-р, от 05.07.2014 г. № 619, от 15.01.2015 г. № 13, от 18.07.2015 г. № 731, от 25.05.2016 г. № 464, от 11.06.2016 г. № 533, от 13.01.2017 г. № 7, от 25.01.2017 г. № 75, от 17.05.2017 г. № 583, от 20.09.2017 г. № 1133 о федеральной целевой Программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 - 2020 годы».

Распоряжением Правительства РФ от 30 июля 2010 г. № 1292 была одобрена «Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года».

Задача оценивания земель сельскохозяйственного назначения (ЗСХН) является сложной, междисциплинарной задачей. Она является подзадачей целого ряда практических задач, в числе которых следует отметить задачи оценивания потенциала залежных земель и возврата их в сельскохозяйственный оборот, задачи определения и прогнозирования урожайности, задачи кадастровой оценки ЗСХН и др.

Необходимость выполнения всего ряд практических задач прописан в Земельном кодексе РФ (ЗК РФ) от 25.10.2001 № 136-ФЗ. В частности, в статьях:

- ст. 67 ЗК РФ (Статья 67. Государственный мониторинг земель);
- ст. 68 ЗК РФ (Статья 68. Землеустройство);
- ст. 69 ЗК РФ (Статья 69. Организация и порядок проведения землеустройства);
- ст. 70 ЗК РФ (Статья 70. Государственный кадастровый учет земельных участков).

Данная задача решается на государственном уровне: правительство РФ заинтересовано в формировании государственных информационных ресурсов ЗСХН в целях анализа, прогнозирования и выработки государственной политики в сфере земельных отношений.

Целью настоящей магистерской диссертации является разработка подсистемы геопространственного моделирования маршрутов сельскохозяйственной техники систем агромониторинга СФУ на примере доступности целевых объектов. При этом должны учитываться различные факторы, такие как географическая удаленность объекта и возможные препятствия.

Задачами, решаемыми в рамках магистерской диссертации, являются:

- 1) Исследование существующих аналогов;
- 2) моделирование исследуемой территории по данным ДЗЗ и векторных слоев;

- 3) разработка алгоритма поиска маршрута с учетом внешних факторов;
- 4) проектирование и разработка подсистемы.

В качестве исходных данных используются карты, сделанные в программе MapInfo на основе топографических карт.

1. Обзор и анализ аналогов программ

1.1 Решение задачи расчета оптимальных маршрутов на Яндекс-картах

Собственная картографическая служба – “Яндекс.Карты” – существует у крупнейшего российского поисковика довольно давно. Вслед за Google «Яндекс» решил использовать имеющиеся картографические данные для предоставления навигационного сервиса [1].

Главные составляющие механизма маршрутизации — это дорожный граф и алгоритм, который рассчитывает путь.

Дорожный граф — это сетка дорог, состоящая из разных фрагментов, которые состыкованы между собой. Например, дорожный граф Саратова (население — около 840 тысяч человек) состоит из 7592 фрагментов. Каждый из них несёт информацию о своём участке дороги: географические координаты, направление движения, средняя скорость, с которой машины обычно едут на этом участке, и другие параметры. Кроме того, каждый фрагмент содержит данные о том, как он стыкуется с соседними участками — есть ли в этом месте поворот направо или налево, можно ли там развернуться в обратную сторону или разрешается ехать только прямо.

В связи с тем, что транспортная система города может меняться, то дорожный граф также требует обновлений. Появляются новые дороги и развязки, меняется направление движения. А там, где ещё недавно был поворот, может висеть «кирпич». Чтобы не отставать от жизни, Яндекс регулярно обновляет данные.

Во-первых, постоянно обрабатываются сообщения о неточностях в графе, которые пользователи присылают с помощью мобильных Яндекс.Карт, Навигатора и веб-сервиса Яндекс.Карты. С этими сообщениями работают эксперты Яндекса, которые используют также открытые источники

информации о транспортной системе (например, сайты местных администраций).

Во-вторых, для определения неточностей на карте дорог существует специальная система. Она фиксирует все случаи, когда данные о движении машин, которые анонимно передают водители, не совпадают с имеющейся сеткой дорог. Если это не случайный нарушитель, который выехал на газон или развернулся в неположенном месте, возможно, на этом участке изменилась схема движения. Все такие случаи разбираются, и при необходимости в граф вносятся изменения.

Дорожный граф хранится на серверах Яндекса в нескольких экземплярах — если какой-то из серверов будет временно недоступен, маршрутизация все равно будет работать.

Для расчет оптимального маршрута в основу вычислений положен алгоритм Дейкстры [2].

Описание алгоритма Дейкстры. Алгоритм Дейкстры позволяет найти оптимальные маршруты и их длину между одной конкретной вершиной (источником) и всеми остальными вершинами графа. Данный алгоритм пошагово перебирает все вершины графа и назначает им метки, которые являются известным минимальным расстоянием от вершины источника до конкретной вершины. Алгоритм работает пошагово – на каждом шаге алгоритм проходит одну вершину и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены. Этап поиска вершины показан на рисунке 1.

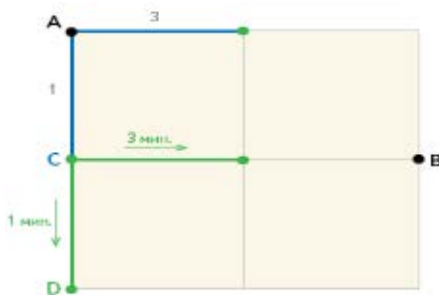


Рисунок 1 – Шаг выбора вершины графа

При старте алгоритма стартовая вершина (источник) помечается равной 0, метки остальных вершин – бесконечности. Это отражает то, что расстояния от исходной вершины до других вершин пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как не пройденные.

Шаг алгоритма. Если все вершины графа пройдены, то алгоритм завершается. В противном случае, из не пройденных вершин выбирается одна вершина, имеющая минимальную метку. Рассматриваются всевозможные маршруты, в которых выбранная вершина является предпоследней вершиной. Для каждой соседней вершины, попасть в которую можно из выбранной вершины, кроме вершин, отмеченных как пройденные, рассматривается новая длина пути, равная сумме значений метки выбранной вершины и длины ребра, соединяющего выбранную вершину с соседней. Если полученное значение длины меньше значения метки соседней вершины, то значение метки соседней вершины заменяется на полученное значение длины. После прохождения всех соседних вершин текущая вершина помечается как пройденная и повторяется шаг алгоритма с другими вершинами [2]. Блок-схема работы алгоритма Дейкстры представлена в главе 2.

Построение маршрута происходит очень быстро. Чтобы добиться такой скорости, всю карту автоматически поделили на множество областей, для каждой из которых можно посчитать оптимальные варианты её пересечения. Такой областью может быть, например, небольшой городок, через который проходит всего одна междугородняя трасса — въехать и выехать из города можно только по ней. Это значит, что Яндекс может заранее рассчитать оптимальный вариант проезда через этот город.

Пользователю программного комплекса предлагается широкий выбор критериев, на основе которых осуществляется расчет рекомендованных маршрутов. Данный подход позволяет в полной мере оценивать обстановку в любой ситуации и заблаговременно принять адекватное решение [3].

1.2 АРМ Курьер – автоматизированная система расчета оптимального маршрута между городскими объектами

Данная автоматизированная система разрабатывалась с использованием картографического материала Open Street Map. Это некоммерческий веб-картографический проект по созданию силами сообщества участников-пользователей Интернета подробной свободной и бесплатной географической карты мира. Для создания карт используются данные с персональных GPS-трекеров, аэрофотографии, видеозаписи, спутниковые снимки и панорамы улиц, предоставленные некоторыми компаниями, и просто людьми, рисующими карту [3]. В OpenStreetMap для создания карт используется принцип вики, каждый зарегистрированный пользователь может внести изменение в карту. Пример интерфейса представлен на рисунке 2.

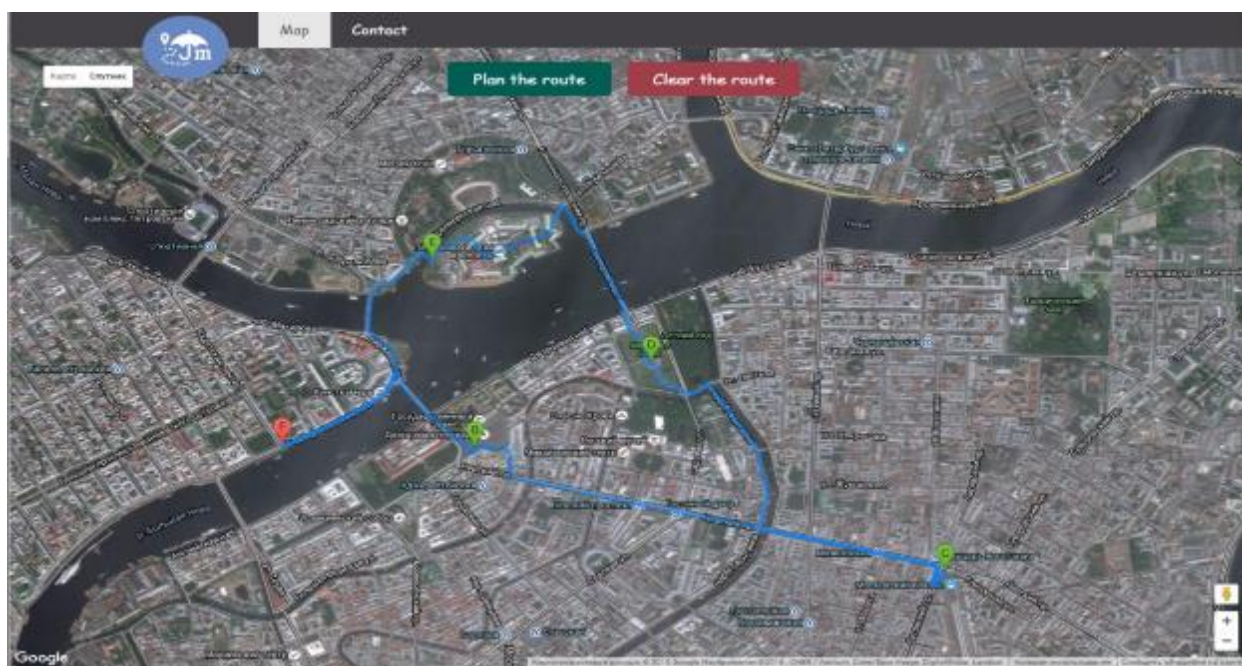


Рисунок 2 – Интерфейс АРМ Курьер.

Топологическая структура данных, состоящая из объектов используется в Open Street Map:

- точка (node) – точка с указанными координатами;

- линия (путь(way)) – упорядоченный список точек, составляющих линию или полигон;
- отношение (relation) – группы точек, линий и других отношений, которым назначаются некоторые свойства;
- тег (tag) – пары «ключ – значение», могут назначаться точками, линиями и отношениями [9].

Система АРМ Курьер позволяет решить наиболее типовые транспортно-логические проблемы:

- увеличенный пробег транспортных средств по причине отсутствия алгоритмов оптимальной маршрутизации;
- отсутствие контроля за местоположением транспортного средства и состояния груза в процессе перевозки;
- отсутствие или недостаток обмена информацией между подразделениями компании, участвующими в процессе перевозки;
- отсутствие системы формирования актуальной отчетности для оценки эффективности и качества выполняемых работ с целью принятия необходимых управленческих решений.

Система состоит из двух частей:

- АРМ Курьера;
- АРМ Диспетчера.

Входными данными для нее являются координаты текущего местоположения пользователя и объектов, до которых необходимо найти оптимальный путь. Необходимые данные о структуре путей, по которым возможно движение, и которые связывают объекты, представлены в виде графа дорог.

Граф дорог – цифровая векторная карта, состоящая из топологически связанных дуг и узлов, местоположение и свойства которых с заданной точностью и полнотой передают маршруты и организацию движения наземного транспорта.

Элементы графа дорог предназначены для использования в задачах по автоматизированной прокладке маршрутов между любыми заданными точками на графе.

Поиск минимального пути между точками осуществляется с учетом любых характеристик, записанных в дуги сети (тип дорог, скорость движения, количество проезжих частей). Кратчайший маршрут можно найти либо по минимальной длине пути, либо по минимальному времени прохождения маршрута. При нахождении минимального пути есть возможность исключить некоторые дуги из поиска, например, аварийные участки. Результат поиска отображается на карте в виде объекта – маршрута.

В основу вычислений оптимального маршрута был положен алгоритм поиска A^* [6].

Алгоритм A^* пошагово просматривает все пути, ведущие от начальной вершины в конечную, пока не найдет минимальный. Сначала просматриваются маршруты, которые «кажутся» ведущими к цели. При выборе вершины A^* учитывает, помимо прочего, весь пройденный до неё путь (составляющая $g(x)$ – это стоимость пути от начальной вершины, а не от предыдущей). В начале работы просматриваются узлы, смежные с начальным; выбирается тот из них, который имеет минимальное значение $f(x)$, после чего этот узел раскрывается. На каждом этапе алгоритм оперирует с множеством путей из начальной точки до всех ещё не раскрытых (листовых) вершин графа («множеством частных решений»), которое размещается в очереди с приоритетом. Приоритет пути определяется по значению:

$$f(x) = g(x) + h(x), \quad (1)$$

где $g(x)$ – стоимость пути от начальной вершины;

$h(x)$ – примерная стоимость передвижения от данной клетки до целевой.

Алгоритм продолжает свою работу до тех пор, пока значение $f(x)$ целевой вершины не окажется меньшим, чем любое значение в очереди (либо

пока всё дерево не будет просмотрено). Из множественных решений выбирается решение с наименьшей стоимостью [11].

При работе с графом дорог OpenStreetMap для реализации алгоритма поиска оптимального маршрута использовался сервис CloudMade.

Англоязычный картографический сервис (CloudMadeMaps) позволяет искать как адреса на карте, так и примерные маршруты в пределах города или области, а также между городами и странами. Этот сервис поддерживает открытый формат OpenStreetMap.

1.3 Выводы по главе 1

Был проведен анализ существующих аналогов программы, рассмотрены используемые в аналогах алгоритмы поиска оптимального маршрута, такие как алгоритм A^* и алгоритм Дейкстры для поиска кратчайшего расстояния по графу. Проведенный обзор позволил подробно разобрать существующие методы и подходы к решению поставленных задач. Выявлен общий подход по решению задачи геопространственного моделирования маршрутов. При решении аналогичных задач выполняется представление области поиска в виде графа с учетом различных особенностей поиска и в дальнейшем с помощью алгоритмов поиска по графу находится оптимальный маршрут.

2. Проектирование подсистемы

2.1 Задача геопространственного моделирования маршрутов

Для проектирования подсистемы геопространственного моделирования маршрутов сельскохозяйственной техники необходимо описать функциональную, содержательную и концептуальную (формализованную) модели.

2.1.1 Функциональная модель

Среди свойств в функциональной модели, нужно поставить различие между воздействием на систему и её реакцией на это воздействие, количественное выражение этих величин организуется с помощью параметров [15]. Любой процесс может быть условно изображен следующим образом:



Рисунок 3. – Условное представление объекта модели

Где x_i – входные параметры, а y_j – выходные параметры.

Для входных параметров можно определить следующую классификацию:

1. Внешние параметры – параметры которые могут быть измерены, но воздействие на них отсутствует;
2. управляющие параметры – параметры на которые можно напрямую воздействовать, для достижения поставленных требований;

3. возмущающие параметры – они возникают случайно и не доступны для измерения.

Для проектируемой подсистемы внешними параметрами являются сведения, полученные из векторного векторных ГИС-слоев в формате MapInfo и информация введена в подсистему оператором.

Управляющими параметрами является сельскохозяйственная техника, имеющаяся в парке.

2.1.2 Содержательная модель

В качестве входных данных подсистемы используются:

- топографическая карта местности, включая следующую информацию: линии горизонталей, населенные пункты, водоемы (реки, ручьи, озера), болота, овраги, лес, дороги;
- карта сельхозугодий, включая контуры полей, находящихся в севообороте и контуры залежных земель (ЗЗ).

Карты представлены в виде совокупности векторных ГИС-слоев в формате MapInfo.

Необходимо разработать методику (метрику, алгоритм) для геопространственного моделирования маршрутов сельскохозяйственной техники до целевых объектов. Под маршрутом будем понимать взвешенную оценку расстояний между целевым объектом и населенным пунктом. При этом следует учитывать такие факторы, как географическая удаленность, погодные условия, характеристики техники, наличие препятствий, включая перепады высот (негативные факторы), и наличие дорог (позитивные факторы).

2.1.3 Концептуальная (формализованная) модель

Составим словарь типов геопространственных объектов (ГПО), представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Словарь типов геопространственных объектов

Семантика объекта	Символ объекта
Залежная земля	S_1
Дорога	S_2
ЖД линия	S_3
Река	S_4
Болото	S_5
Лес	S_6
Высота	S_7
Горизонталь	S_8
Населенный пункт	S_9

Каждому типу объекта в общем случае соответствует множество индивидуальных объектов. Каждому индивидуальному ГПО в векторном слое соответствует полилиния, ограничивающая его внешний контур [11].

Перейдем от векторного представления к растровому. Каждому объекту на растровом изображении соответствует множество пикселей, представляющее собой связную область. Введем понятие маршрута. Маршрут – это упорядоченное множество пикселей, где каждый i -й пиксел, кроме первого, находится в отношении 4-соседства с $(i-1)$ -м пикселем. Мы рассматриваем задачу поиска оптимального маршрута от каждого пикселя внешнего контура объекта S_1 до каждого пикселя внешнего контура объекта типа S_9 . В первом приближении оптимальный маршрут – это самый короткий маршрут, т.е. маршрут с минимальной мощностью. Эксперт сам задает начальную точку и конечную.

Введем понятие мощности маршрута. Мощность маршрута – это константа, равная сумме пикселей этого маршрута [12].

Введем понятие «веса» пикселя ГПО. Вес пикселя ГПО – это константа, характеризующая трудность его прохождения с точки зрения эксперта. Так для ГПО, через пиксели которых, с точки зрения эксперта, не следует прокладывать маршрут, укажем вес, близкий к бесконечности, для ГПО, маршрут через пиксели, которых затруднен – константу, значение которой

пропорционально степени затрудненности пути и др. Тогда, во втором приближении, оценка оптимальности маршрута может рассматриваться на основе минимизации суммы весов пикселей маршрута [17].

Добавим информацию об изолиниях рельефа. Можно рассматривать два варианта обработки этой информации. В упрощенном варианте будем рассматривать изолинию, как физическую преграду (подъем или спуск). В этом случае для изолиний можно применить ту же модель, что и для других ГПО.

В более точном варианте необходимо осуществить преобразование векторного слоя изолиний в сетчатую модель на основе одного из методов интерполяции, используемых при построении 3d-моделей рельефа и затем перевести сетчатую модель в матричное представление. В таком случае каждый пиксель изображения будет характеризоваться интерполяционной оценкой высоты над уровнем моря, а переход от пикселя к пикселю – весом этого перехода.

Также введем понятие оперативной информации. Оперативная информация – такой тип геопространственных объектов, которые появляются в следствии различных факторов и представляют из себя временные преграды. При этом если маршрут проходит через этот объект, то вес пикселей, пересекаемых его, умножается на коэффициент преграды. Коэффициент для таких объектов определяет эксперт.

Тогда, в третьем приближении, оценка оптимальности маршрута будет рассматриваться на основе минимизации суммы весов пикселей маршрута и суммы весов переходов от i -го пикселя, к $(i+1)$ -му пикселю [18].

2.2 Однородность поверхности

Для описания однородности поверхности необходимо описать содержательную и концептуальную (формализованную) модели.

2.2.1 Содержательная модель

Исходные данные. Топографическая карта местности, представленная в виде совокупности ГИС-слоев в формате MapInfo. Включается следующая информация: карты границы района, карты сельхозугодий, населенные пункты, автодороги, жд-дороги, реки, болота, леса, карта высот, карта линий горизонталей.

Необходимо разработать систему оценки профиля поверхности (однородности поверхности). Под профилем поверхности будем понимать вид поверхности в вертикальном разрезе [24], т.е. оценку координат высот каждой точки поверхности. При этом для построения профиля поверхности необходимо исходить из данных о горизонтальных рядах поверхности.

2.2.2 Концептуальная (формализованная) модель

Движение по поверхности часто ограничивают препятствия или сложность местности. Местность образует фрикционную поверхность. Введем понятие фрикционной поверхности.

Фрикционная поверхность – это области, которые замедляют продвижение по поверхности, увеличивая время достижения заданной точки по сравнению с поверхностью без сопротивления. Барьеры бывают двух типов: преодолимые, движение через которые возможно с замедлением времени прохождения и непреодолимые, движение через которые невозможно [12].

Составим словарь видов и типов барьеров, таблица 2. Каждому типу объекта в общем случае соответствует множество индивидуальных объектов. Каждому индивидуальному ГПО в векторном слое соответствует полилиния, ограничивающая его внешний контур.

Таблица 2 – Словарь видов и типов барьеров

Вид объекта	Символ объекта	Тип объекта
Полевая, лесная дорога	S_1	Преодолимый
Автодорога с усовершенствованным покрытием действующая	S_2	Преодолимый
Автодорога с покрытием действующая	S_3	Преодолимый
Автодорога без покрытия	S_4	Преодолимый
Грунтовая проселочная дорога	S_5	Преодолимый
Караванный путь, выючная тропа	S_6	Непреодолимый
Пешеходная тропа	S_7	Непреодолимый
Прочая улица, проезд в ПСТ, ПДТ	S_8	Преодолимый
Улица магистральная в крупном городе	S_9	Преодолимый
Прочая улица, проезд в крупном городе	S_{10}	Преодолимый
Тупик	S_{11}	Непреодолимый
Разъезд, обгонный, остановочный пункт	S_{12}	Преодолимый
Станция ж/д, расположение сбоку или между путями	S_{13}	Преодолимый
Река	S_{14}	Непреодолимый
Река, ручей пересыхающие, шириной менее 20 м	S_{15}	Преодолимый
Река, ручей постоянные, шириной от 20 до 120 м	S_{16}	Непреодолимый
Пойма реки	S_{17}	Преодолимое
Болото проходимое	S_{18}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе основная	S_{19}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе дополнительная	S_{20}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе основная утолщенная	S_{21}	Преодолимое

Группа объектов от S_1 до S_{10} берется из файла «Автодороги лин», объекты от S_{11} до S_{13} – файл «ЖД_дорога», объекты от S_{14} до S_{17} – файл «Реки, ручьи лин», объект S_{18} – файл «Болота площ», объекты от S_{19} до S_{21} – файл «Горизонталь утолщённая».

Непреодолимые барьеры останавливают или отклоняют движение. Фрикционная поверхность создает сопротивление, при этом она может быть и изотропной [25]. Введем понятие изотропной поверхности. Изотропная поверхность – это поверхность, имеющая одинаковые свойства независимо от направления движения по ней.

В первом приближении оценку однородности профиля поверхности можно представить в ступенчатом виде. В этом приближении зададим коэффициенты сопротивления преодоления ступеней (линий горизонталей, препятствий – например, пересыхающих рек). Для ГПО движение через которые с точки зрения эксперта не следует прокладывать маршрут, зададим коэффициент сопротивления, стремящийся к бесконечности. Движение по определенной ступени будем считать без коэффициента сопротивления. Составим таблицу коэффициентов сопротивления движения по поверхности, таблица 3.

Таблица 3 – Коэффициенты сопротивления движения по поверхности

Название коэффициента	Обозначение коэффициента	Значение сопротивления
Ступень горизонтальной линии	K_1	$K_1 = H_{\text{след}} / H_{\text{пред}}$
Болота	K_2	$K_2 = \text{const.}$
Реки непреодолимые	K_3	$K_3 = +\infty.$
Реки преодолимые	K_4	$K_2 = \text{const.}$
ЖД станции	K_5	$K_5 = \text{const.}$
Дороги преодолимые	K_7	$K_7 = \text{const.}$
Дороги непреодолимые	K_8	$K_8 = +\infty.$

Коэффициент K_1 получается из группы объектов от S_{18} до S_{20} , коэффициент K_2 – из объекта S_{17} , коэффициенты K_3 и K_4 – из группы объектов от S_{14} до S_{16} , коэффициенты K_5 и K_6 – из группы объектов от S_{11} до S_{13} и коэффициенты K_7 и K_8 – из группы объектов от S_1 до S_{10} .

Обозначим $H_{\text{пред}}$ – высота прошлой горизонтальной линии, $H_{\text{след}}$ – высота следующей горизонтальной линии. Тогда коэффициент преодоления ступени будем считать равным $K_N = \frac{H_{\text{след}}}{H_{\text{пред}}}$. Таким образом, при $K_N > 1$ возникает сопротивление на подъеме на следующую ступень горизонтальной линии, при $K_N < 1$ сопротивление не возникает т.к. ведется спуск по горизонтальным линиям.

Так же оператором вводится оперативная информация, которая не зависит от топографических особенностей местности. В этом случае для коэффициентов сопротивления необходимо учитывать эту информацию. Для этого необходимо составить таблицу коэффициентов, на которые будет умножаться коэффициент сопротивления. Для преодолимых объектов коэффициент равен $const$ либо $+\infty$ в случае невозможности преодоления препятствия.

Коэффициенты сопротивления движения делаться на несколько типов:

- Климатические факторы (факторы, определенные климатом местности: размытие дороги, затопление, термокарст, и т.д.);
- антропогенные факторы (факторы, обусловленные воздействием человека: распашка поверхности, перекрытие дороги);
- эдафические факторы (совокупность физических и химических свойств почв: изменение плотности поверхности);
- абиотические факторы (факторы неорганической среды: упавшее дерево и т.д.).

В результате получаем следующую таблицу 4.

Таблица 4 – Коэффициенты для оперативной информации

Название коэффициента	Обозначение коэффициента	Значение
Ремонтные работы	K_1	$K_1 = const.$
Размытие дорог	K_2	$K_2 = const.$
Затопление поверхности	K_3	$+\infty$
Изменение плотности поверхности	K_4	$K_2 = const$
Термокарст	K_5	$K_3 = const.$
Сырая почва	K_6	$K_4 = const.$
Возделанная земля	K_7	$+\infty$
Затопление территории	K_8	$+\infty$
Овраг	K_9	$+\infty$
Преграждение дороги	K_{10}	$+\infty$

Таким образом, вся поверхность будет представлена в виде матрицы однородных коэффициентов. В дальнейшем матрица будет использоваться для поиска.

2.3 SADT-модель подсистемы

Для описания подсистемы на первом этапе используется SADT – модель, так как отличительной особенностью её как методологии описания систем заключается в том, что она, используя в качестве основы естественный язык экспертов, структурирует этот язык с помощью своих графических средств, что позволяет эксперту в свободной и доступной форме описать функционирование системы. Начальная контекстная диаграмма потоков данных содержит нулевой процесс с именем, отражающим суть подсистемы, внешние сущности, соединенные с нулевым процессом посредством потоков данных [20]. Потоки данных соответствуют документам, запросам или сообщениям, которыми внешние сущности обмениваются с подсистемой [3]. Изображена на рисунке 4.

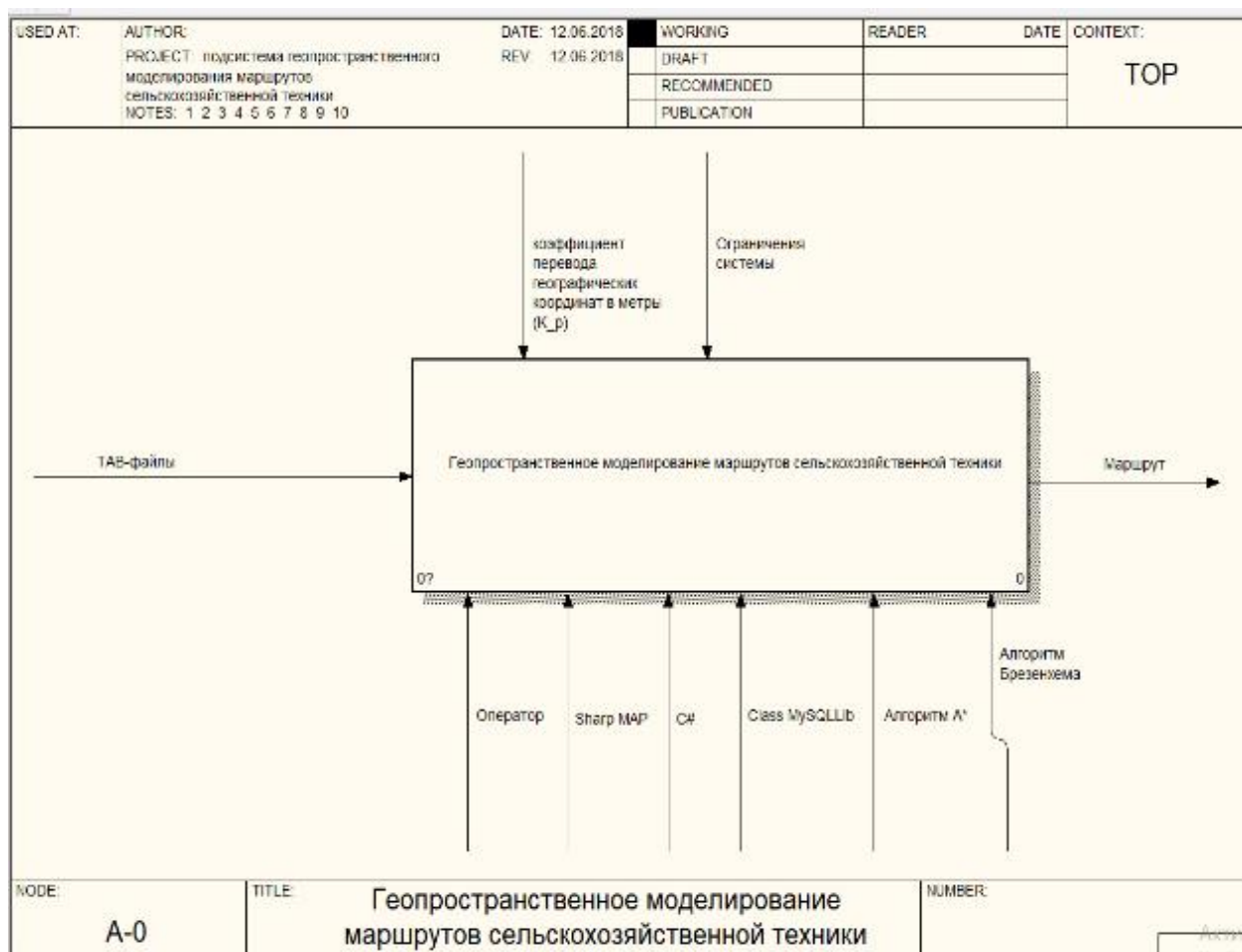


Рисунок 4 - Контекстная диаграмма процесса

Весь поток разбивается на 3 части, первый поток отвечает за взаимодействие подсистемы с оператором, второй по входным данным формирует матрицу поиска, третий по полученной матрице поиска ищет оптимальный маршрут и отображает результат оператору. Показано на рисунке 5.



Рисунок 5 - Декомпозиция блока «Геопространственное моделирование маршрутов сельскохозяйственной техники»

Чтобы приступить к поиску оптимального маршрута необходимо из входных геоинформационных данных сформировать матрицу поиска.

Для этого декомпозируем поток A2. Декомпозиция представлена на рисунке 6.

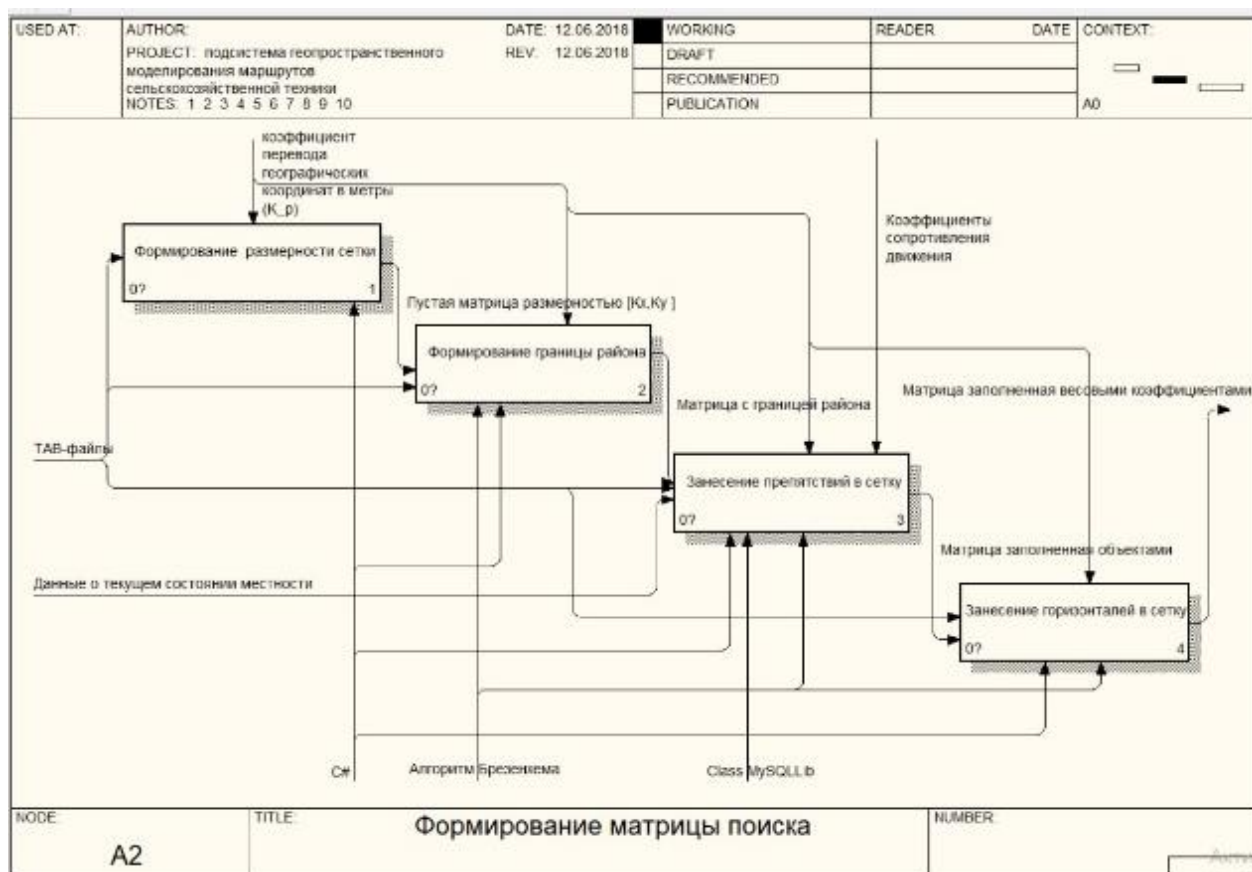


Рисунок 6 - Декомпозиция блока «Формирование матрицы поиска»

Алгоритм построения однородной поверхности разделен на несколько частей:

- 1) формирование размерности сетки;
- 2) формирование границы района;
- 3) занесение препятствий в сетку;
- 4) занесение горизонталей в сетку.

Шаг 1. Формирование размерности сетки.

Вначале рассматривается первая вершина границы района, ее долгота и широта принимаются за максимальные долготу (X_{max}) и широту (Y_{max}) и за минимальные долготу (X_{min}) и широту (Y_{min}) границы [31].

Далее рассматриваются все вершины полилинии границы района, если координаты широты и долготы рассматриваемой вершины меньше соответствующих координат X_{min} и Y_{min} , то X_{min} и Y_{min} заменяются на соответствующие координаты рассматриваемой вершины. Если координаты

широты или долготы рассматриваемой вершины больше соответствующих координат X_{max} и Y_{max} , то X_{max} и Y_{max} заменяются на соответствующие координаты рассматриваемой вершины.

Если все вершины полилинии границы пройдены, то формируется размерность сетки района по формуле:

$$K_x = (X_{max} - X_{min})/K_p, \quad (2)$$

$$K_y = (Y_{max} - Y_{min})/K_p, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент для перевода географических координат в метры;

K_x – размерность сетки по x ;

K_y – размерность сетки по y .

Использование K_p для определения размерности сетки необходимо для получения целых чисел в программе [32].

Для определения размера одной ячейки матрицы необходимо ввести K_p . Данный коэффициент задает эксперт, в зависимости от необходимой точности. Для примера $K_p = 8,98 * 10^{-6}$ даст ячейку размером 1м^2 . С помощью формул (2) и (3) вычисляется количество ячеек в матрице.

На следующем шаге создается матрица размерностью $[K_x, K_y]$ и всем точкам матрицы присваивается значение равное 0.

Данный поток представлен на рисунке 7.

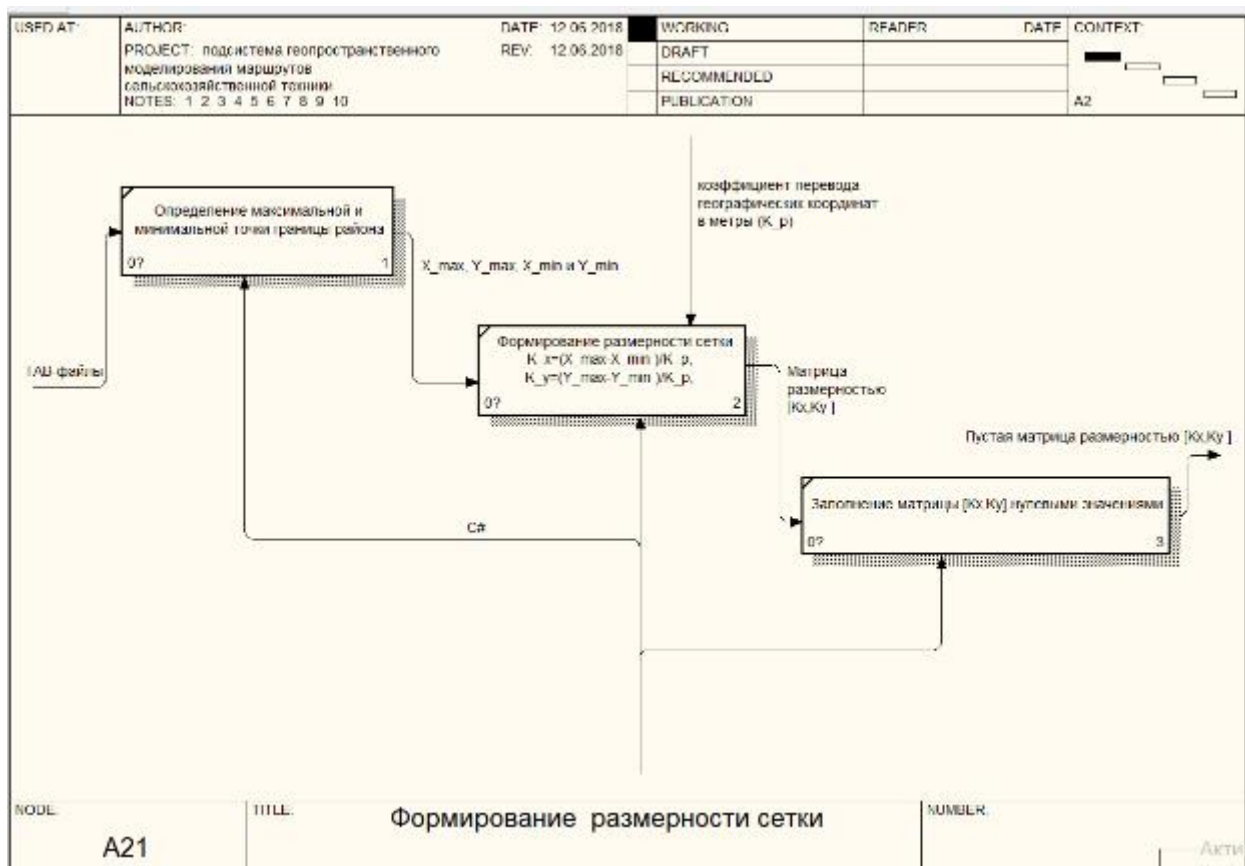


Рисунок 7 - Декомпозиция блока «Формирование размерности сетки»

Шаг 2. Формирование границы района.

Поочередно рассматривается по две соседние вершины границы района P_i и P_{i+1} до тех пор, пока не будут пройдены все точки границы. Для определения всех промежуточных точек границы между выбранными вершинами применяется алгоритм Брезенхема [37]. Алгоритм Брезенхема – это алгоритм, позволяющий получить точки для близкого приближение прямой линии между двумя заданными точками.

В ходе работы алгоритма Брезенхема находятся промежуточные точки P_j между соседними вершинами P_i и P_{i+1} . Ячейки матрицы с координатами $P(P_j^x \cdot K_p, P_j^y \cdot K_p)$ присваивают значение стремящееся к бесконечности.

Данный поток представлен на рисунке 8.

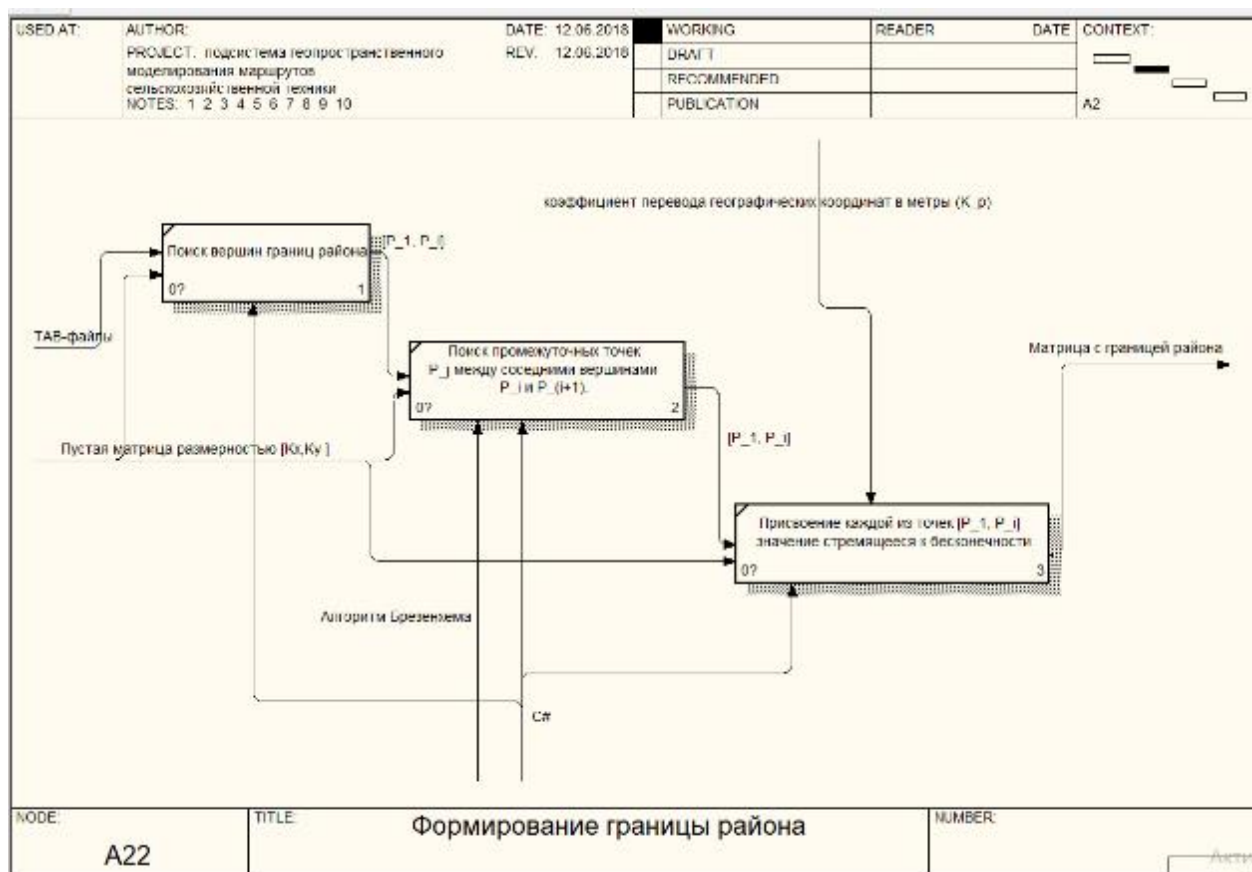


Рисунок 8 - Декомпозиция блока «Формирование границы района»

Шаг 3. Занесение препятствий в сетку.

Поочередно рассматриваются разные объекты препятствий. Выбирается не пройденный объект и осуществляется проход по всем вершинам объекта. Если все вершины объекта пройдены, то выбирается следующий объект. Если же не все вершины пройдены, то ячейка матрицы с координатами $P(V_i^x \cdot K_p, V_i^y \cdot K_p)$ присваивает значение K_i , где K_i – значение соответствующей константы. Если происходит наложение объектов друг на друга, то к ячейке где уже есть значение коэффициента прибавляется K_i . Для нахождения промежуточных точек полилинии используется алгоритм Брезенхема.

Данный поток представлен на рисунке 9.

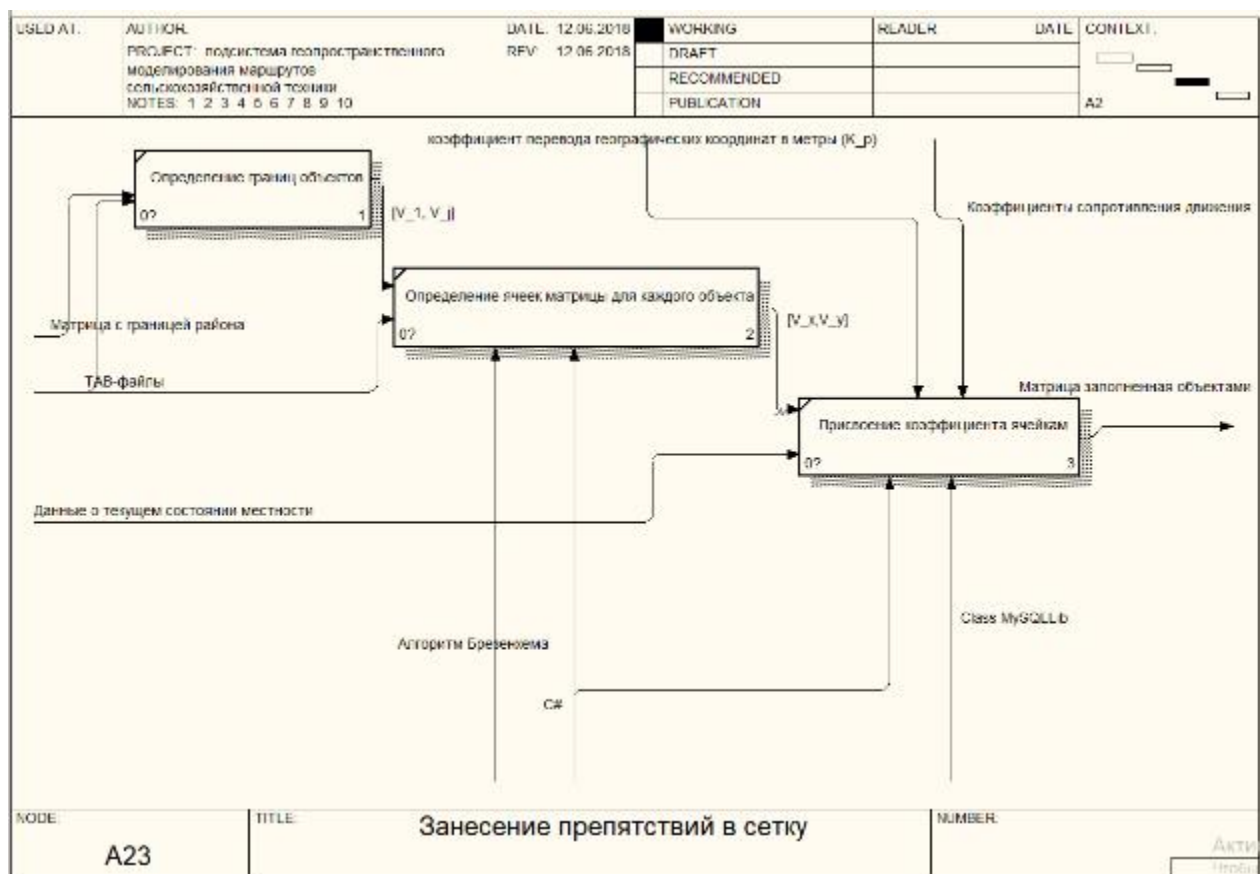


Рисунок 9 - Декомпозиция блока «Занесение препятствий в сетку»

Шаг 4. Занесение горизонталей в сетку.

Поочередно рассматриваются все горизонталы. Также, как и в пункте 2 берется по две соседние вершины до тех пор, пока не будут пройдены все точки, если все точки горизонталы пройдены, то происходит переход к следующей горизонтали. Для каждой двух соседних точек применяется алгоритм Брезенхема для нахождения координат промежуточных точек. Для перевода координат начальной и конечной точек полилинии в координаты ячейки матрицы используются формулы $x = P_i^x \cdot K_p, y = P_i^y \cdot K_p$, где x и y – координаты ячейки матрицы, P_i^x и P_i^y – долгота и широта соответствующие точке. Алгоритм Брезенхема работает с переведенными координатами x и y начальной и конечной точек. Найденным точкам матрицы присваивается значение равное высоте горизонтали.

Данный поток представлен на рисунке 10.

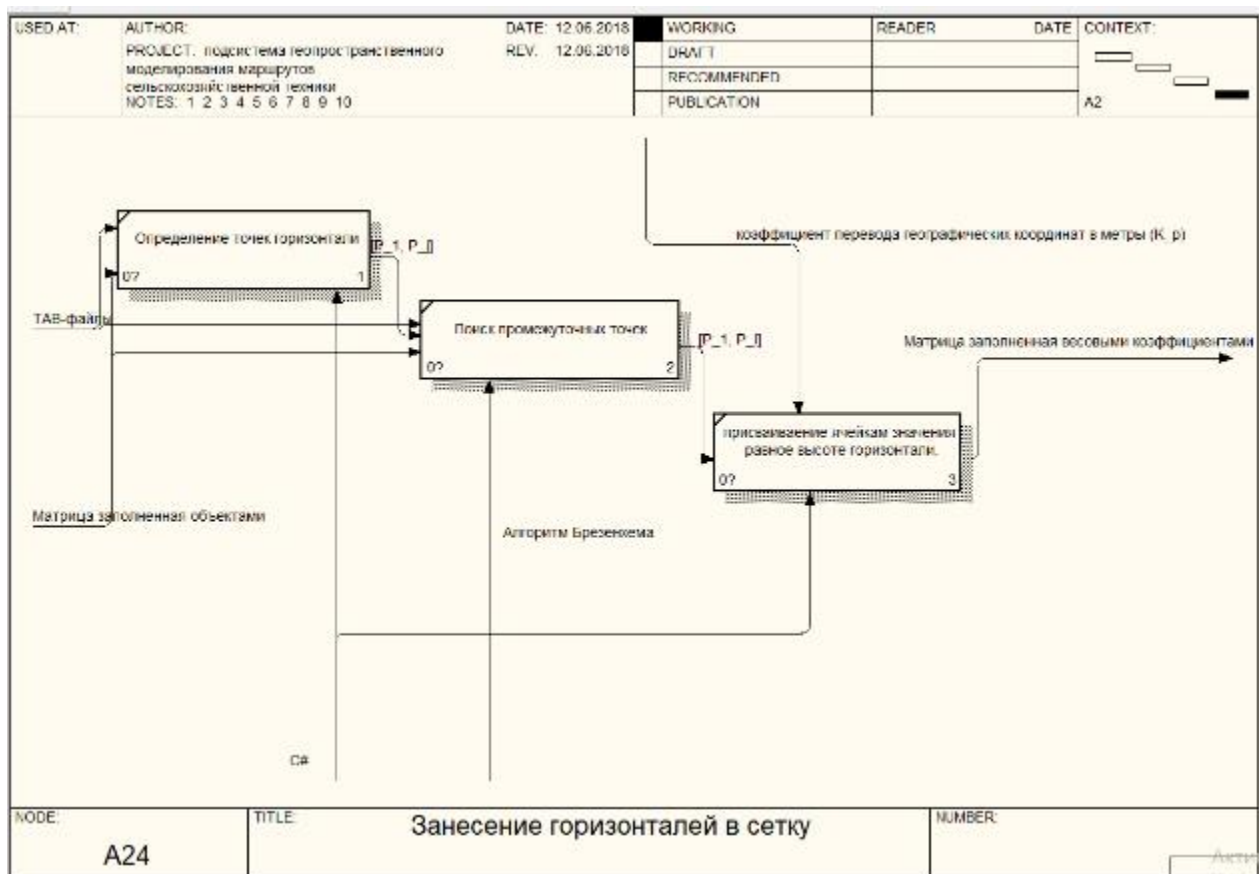


Рисунок 10 – Декомпозиция блока «Занесение горизонталей в сетку»

2.4 Анализ существующих метрик

Сходство или различие между объектами классификации устанавливается в зависимости от выбранного метрического расстояния между ними. Если каждый объект описывается свойствами (признаками), то он может быть представлен как точка в n -мерном пространстве, и сходство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние. При классификации используются различные меры расстояния между объектами [28].

Существует большое количество метрик для определения расстояния между объектами, некоторые из них:

- евклидово расстояние или Евклидова метрика, является наиболее часто используемой мерой расстояния;

Евклидово расстояние – это геометрическое расстояние между двумя точками в многомерном пространстве, вычисляемое по теореме Пифагора:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2}, \quad (4)$$

где P – расстояние между объектами A и B ;

A_i – значение i -свойства объекта A ;

B_i – значение i -свойства объекта B .

Применение евклидова расстояния оправдано в случаях, когда:

- свойства (признаки) объекта однородны по физическому смыслу и одинаково важны для классификации;
- признаковое пространство совпадает с геометрическим пространством [29].

- хеммингово расстояние (метрика городских кварталов);

Также называется манхэттенским, сити-блок расстоянием или расстоянием городских кварталов. Это расстояние является разностью по координатам. В большинстве случаев эта мера расстояния приводит к таким же результатам, как и для обычного расстояния Евклида. Однако для этой меры влияние отдельных больших разностей уменьшается (так как они не возводятся в квадрат) [31]. Хеммингово расстояние вычисляется по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^N (|A_i| - |B_i|). \quad (5)$$

- расстояние Чебышева;

Расстоянием Чебышева между n -мерными числовыми векторами называется максимум модуля разности компонент этих векторов.

$$P = \max |A_i - B_i|. \quad (6)$$

Это расстояние применяют, когда необходимо определить два объекта как "различные", если они различаются по какой-либо одной координате [3].

2.5 Use-case диаграмма

При взаимодействии актера с системой последняя выполняет ряд работ, которые образуют вариант использования системы. Каждый актер может использовать систему по-разному. Таким образом, каждый вариант использования, по существу, есть некоторое функциональное требование к системе (которое может быть разбито на несколько более мелких). Вариант использования не представляет собой конструкцию, напрямую реализуемую в программном коде [11].

Диаграмма, отражающая отношения между актёрами и прецедентами и являющаяся составной частью модели прецедентов, показана на рисунке 11.



Рисунок 11 — USE-CASE Диаграмма

Чтобы загрузить данные MapInfo-файлов необходимо выбрать тип объекта (выставить соответствие с таблицей в БД).

Для того чтобы предоставить оператору возможность ввода оперативной информации и парка техники необходимо отобразить соответствующие таблицы в БД для дальнейшего их редактирования.

2.6 Диаграмма классов

Диаграммы классов являются одной из форм статического описания системы с точки зрения ее проектирования, показывая ее структуру. Диаграмма классов не отображает динамическое поведение объектов, изображенных на ней классов. На диаграммах классов показываются классы, интерфейсы и отношения между ними. Диаграмма классов для подсистемы представлена на рисунке 12.

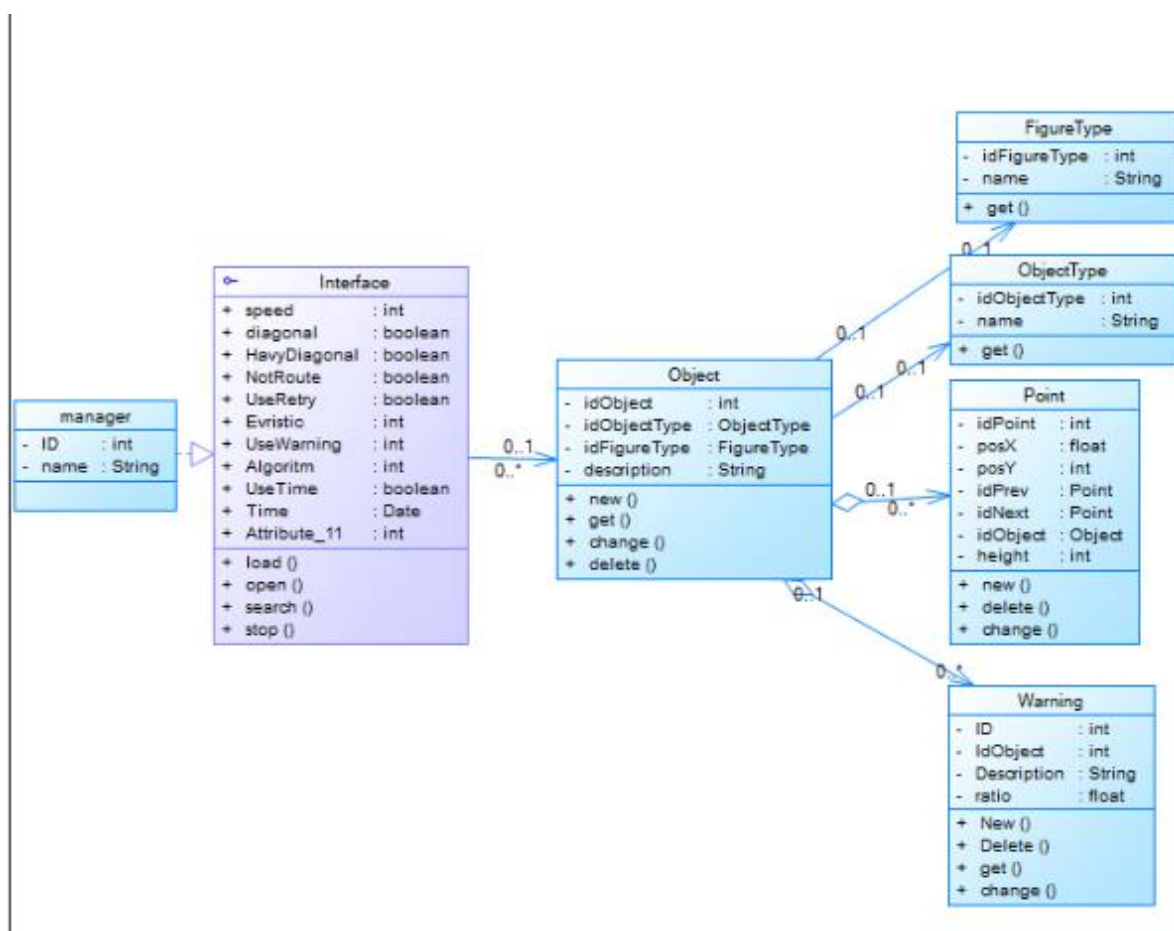


Рисунок 12 — USE-CASE Диаграмма

Классы:

- Класс «manager»: содержит в себе информацию о менеджерах компании.
- Класс «Interface»: Отвечает за отображение рабочего пространства для менеджера и вызовы функций с БД.
- Класс «Object»: Содержит объекты геопривязанных слоев из GIS-системы.
- Класс «FigureType»: справочник определяющий тип фигуры описываемого GIS – объекта. Предопределено 3 типа: полигон, полилиния, точка.
- Класс «ObjectType»: Справочник определяющий тип описываемого GIS – объекта: Населённые пункты, реки, озера, дороги, пашни под лесом и т.д..
- Класс «Point»: Список координат для пространственного описания объектов. posX и posY – широта и долгота точки, IdPrev и IdNext – идентификатор предыдущей и следующей точки, height – высота.
- Класс «Warning»: Список объектов с проблемной проходимостью: IdObject – идентификатор объекта, Description – описание проблемы, Ratio – коэффициент.

2.7 Диаграмма пакетов

Диаграмма пакетов служит, в первую очередь, для организации элементов в группы по какому-либо признаку с целью упрощения структуры и организации работы с моделью системы.

Группировка классов в пакеты осуществляется путем перетаскивания соответствующего класса в соответствующий пакет. Группировать созданные классы будем следующим образом (рисунок 13):

- классы Manager и Interface перенесем в пакет Entities;
- классы Object, FigureType, и ObjectType перенесем в пакет Object;

- класс Point и Warning перенесем в пакет Control.



Рисунок 13 — Диаграмма пакетов

2.8 Блок-схема алгоритма A*

Блок-схема — распространенный тип схем (графических моделей), описывающих алгоритмы или процессы, в которых отдельные шаги изображаются в виде блоков различной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности.

Блок схема алгоритма A* использующийся для поиска оптимального маршрута в полученной матрице поиска представлен на рисунке 14.

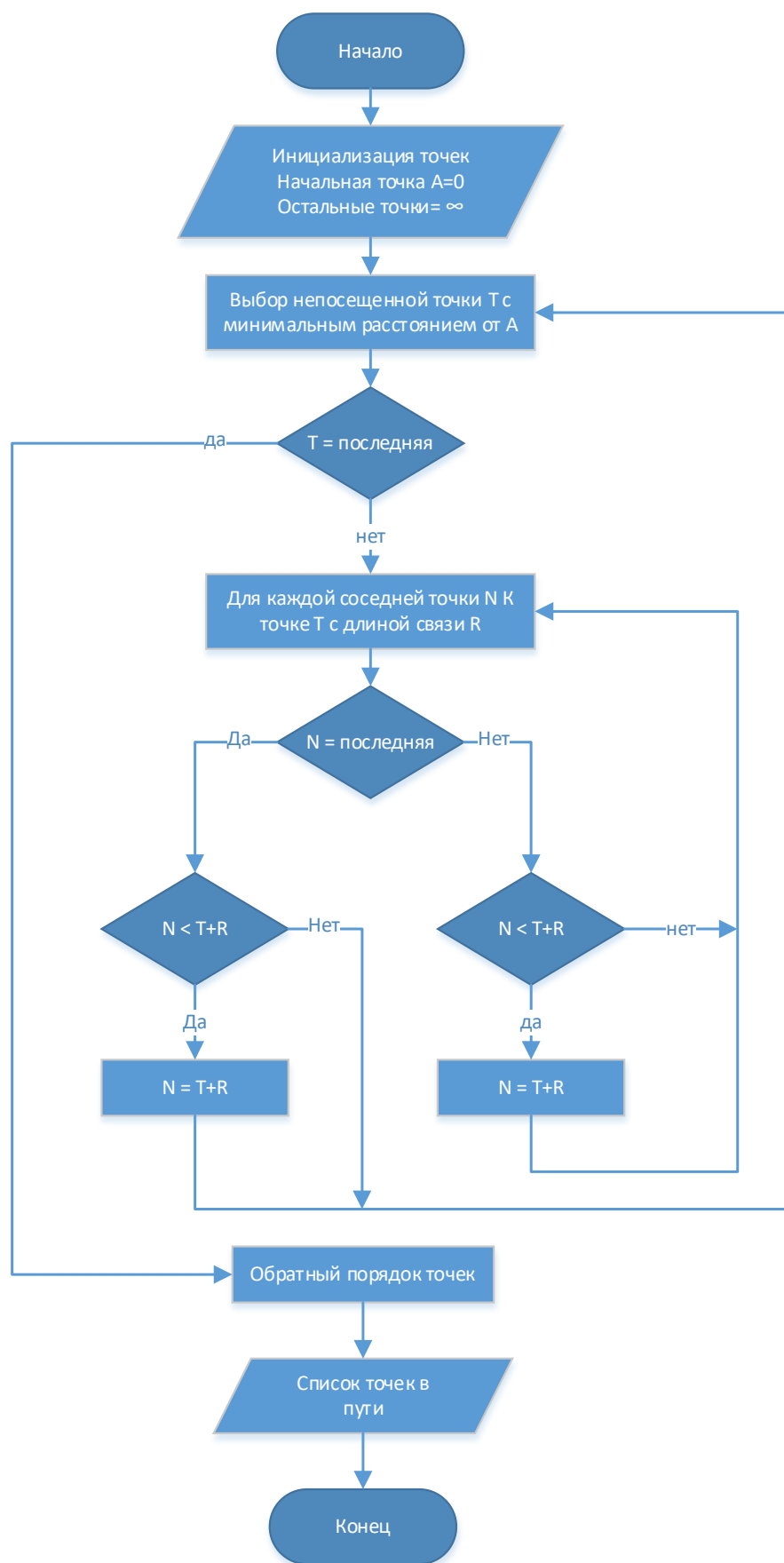


Рисунок 14 — Блок-схема алгоритма A*

2.9 Выводы по главе 2

В результате проведенного анализа был разработан алгоритм формирования матрица поиска, описаны необходимые для применения алгоритмы, такие как алгоритм A^* для поиска по матрице значений и алгоритм Брезенхема необходимый для заполнения матрицы значений по данным из БД.

Описан пошаговый алгоритм заполнения матрицы значений, приведены примеры используемых в программе константных значений.

Спроектирована подсистема геопространственного моделирования маршрутов сельскохозяйственной техники и описаны функциональные требования к разработке.

3. Разработка подсистемы

Таким образом разрабатываемая подсистема должна учитывать все параметры, приведенные выше и определять оптимальный маршрут до места назначения. А также необходимо предоставить возможность оператору вносить в систему дополнительную информацию.

В качестве исходных данных используются слои, созданные в программе MapInfo.

Файл MapInfo TAB, именуемый также «родным» форматом MapInfo, представляет собой двумерный формат, в котором запоминаются и геометрия элемента, и атрибуты (данные) в наборе физических файлов.

Сведения о TAB-файлах MapInfo:

- основной файл для таблицы MapInfo – .tab. Он ассоциирован с соответствующими файлами .dat, .id, .map и .ind;
- данные для таблицы в исходном формате MapInfo – dat;
- указатель на файл графических объектов MapInfo .map() – .id;
- географическая информация, описывающая объекты карты – map;
- указатель на табличный файл MapInfo (.dat) – .ind [6].

Входные TAB файлы:

- сухобузимский_ВК_граница;
- пашня под лесом;
- пашня_под сенокосами;
- населенные_пункты;
- автодороги лин;
- ЖД_дорога;
- реки, ручьи лин;
- болота площ;
- лес высокий редкий;
- высотная основа;

- горизонталь утолщённая;

В следствии того, что проходимость на участке зависит не только от особенностей рельефа, но и от непредвиденных ситуаций (упавшее дерево, размытая дорога и т.д.), то в системе добавляется возможность оператором обозначать такие участки. Эта таблица названа «труднопроходимые участки», в которую вносится ID объекта с которым он связан, описание участка и коэффициент проходимости, от которого зависит вес участка, через который будет прокладываться оптимальный маршрут. Пример таблицы приведен на рисунке 15.

Id	IdObject	Description	ratio
1	23	Ремонтные работы	10
2	34	Размыло дорогу	8

Рисунок 15 – Пример таблицы «труднопроходимые участки»

В этом случае при формировании матрицы поиска весовые коэффициенты связанных объектов умножаются на введенный оператором коэффициент, что позволяет при расчете оптимального маршрута учитывать всю информацию.

3.1 Используемые библиотеки

Для того что бы приступить к разработке необходимо описать методы, алгоритмы и библиотеки, которые применяются в подсистеме.

3.1.1 Класс MySqlLib

Для работы с СУБД «MySQL» был выбран класс MySqlLib.

Данный класс представляет из себя свободно распространяемую библиотеку от MySQL с открытым исходным кодом. В C# нет компонентов или классов для работы с MySQL, поэтому необходимо обратиться к классу MySqlLib.

Все данные MapInfo-файлов были разделены на следующие типы фигур:

- таблица границ района (значение в базе данных (БД) – 1) – t_border;
- таблица пашен под лесом (значение в БД – 2) – t_forest;
- таблица пашен под сенокосом (значение в БД – 3) – t_haying;
- таблица городов (значение в БД – 4) – t_city;
- таблица автодорог (значение в БД – 5) – t_highway;
- ЖД (значение в БД – 6) – t_railway;
- таблица рек (значение в БД – 7) – t_river;
- таблица болот (значение в БД – 8) – t_swamp;
- таблица лесов (значение в БД – 9) – t_fforest;
- карта высот (значение в БД – 10) – t_height;
- карта рельефа (значение в БД – 11) – t_relief;
- таблица труднопроходимых участков (значение в БД – 12) – t_warning.

Все эти типы фигур можно объединить в таблицу ObjectType имеющую следующую структуру:

- идентификатор типа объекта – idObjectType;
- название типа объекта – name.

Вид таблицы ObjectType представлен на рисунке 16.

























			idObjectType	name
<input type="checkbox"/>			1	t_border
<input type="checkbox"/>			2	t_forest
<input type="checkbox"/>			3	t_haying
<input type="checkbox"/>			4	t_city
<input type="checkbox"/>			5	t_highway
<input type="checkbox"/>			6	t_railway
<input type="checkbox"/>			7	t_river
<input type="checkbox"/>			8	t_swamp
<input type="checkbox"/>			9	t_fforest
<input type="checkbox"/>			10	t_height
<input type="checkbox"/>			11	t_relief
<input type="checkbox"/>			12	t_warning

Рисунок 16 – Вид таблицы ObjectType

Все файлы представляют из себя набор полигонов, полилиний и точек. Для определения типа фигуры создается таблица FigureType имеющая следующую структуру:

- идентификатор типа фигуры – idFigureType;
- название типа фигуры – name.

Вид таблицы FigureType представлен на рисунке 17.







			idFigureType	name
<input type="checkbox"/>			1	polygon
<input type="checkbox"/>			2	polyline
<input type="checkbox"/>			3	point

Рисунок 17 – Вид таблицы FigureType

Для хранения информации об объекте была создана таблица Object следующей структуры:

- идентификатор объекта – idObject;
- идентификатор типа объекта – idObjectType;

- идентификатор типа фигуры – `idFigureType`;
- описание (дополнительная информация об объекте) – `description`.

Для хранения координат точек объектов была создана таблица `Point` следующей структуры:

- идентификатор точки – `idPoint`;
- широта точки – `posX`;
- долгота точки – `posY`;
- идентификатор предыдущей точки (для полигонов и полилиний, `id_prev = 0` будет считаться начальной точкой полигона или полилинии) – `idPrev`;
- идентификатор следующей точки (для полигонов и полилиний) – `idNext`;
- идентификатор объекта, к которому относится точка – `idObject`;
- высота (`height = 0` будет считаться за отсутствие информации о высоте точки) – `height`.

Для хранения дополнительной информации об участках была создана таблица `Warning` следующей структуры:

- Идентификатор – `ID`;
- идентификатор объекта – `idObjectType`;
- описание проблемы – `Description`;
- коэффициент сопротивления движения – `ratio`.

Структура БД представлена в главе 2 в виде диаграммы классов. Рисунок 12.

3.1.2 Алгоритм Брезенхема

Для растеризации векторных изображений существует множество всевозможных алгоритмов, но самым оптимальным в данном случае был

выбран алгоритм Брезенхема, который находят приближение векторного отрезка в растровых координатах.

Этот алгоритм определяет какие точки n-мерного растра нужно закрасить, чтобы получить близкое приближение прямой линии между двумя заданными точками.

Принцип работы алгоритма Брезенхема:

1. Берётся отрезок и его начальная координата x ;
2. к x в цикле прибавляем по единичке в сторону конца отрезка;
3. на каждом шаге вычисляется ошибка — расстояние между реальной координатой y в этом месте и ближайшей ячейкой сетки;
4. если ошибка не превышает половину высоты ячейки, то она заполняется.

Для реализации алгоритма использовался открытый исходный код с GitHub «BresenhamWu».

3.1.2 Библиотека SharpMAP

В системе для реализации визуализации картографических данных используется библиотека SharpMap.

SharpMap – картографическая библиотека, написанная на языке C# и основанная на framework .NET 2.0, для использования в настольных и веб-приложениях.

Данная библиотека используется для отображения разной географической информации, представляющая из себя инструмент формирования карт из многих слоёв векторных изображений, что очень важно для данной системы, так как может использовать при визуализации данных разные приёмы. Данная библиотека также является свободно распространяемой.

Для работы с MapInfo-файлами используется расширение для данной библиотеки «GDAL Raster Layer»

3.2 Работа эксперта с подсистемой

При работе с подсистемой эксперту необходимо устанавливать значения коэффициентов сопротивления движения для объектов из таблицы 2. На это может влиять сезонные факторы и др.

Для первого примера рассмотрим объект S_{17} – Пойма реки. Рисунок 18.

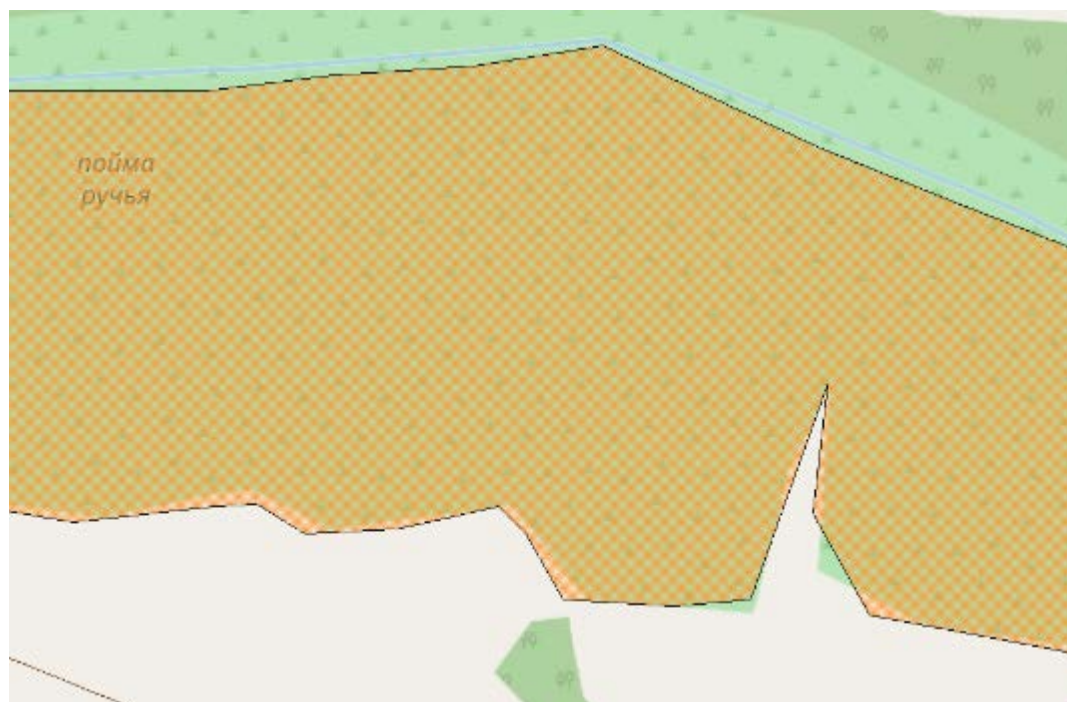


Рисунок 18 – Пойма реки.

Эксперту известно при каких условиях этот объект может быть преодолимым или нет.

Работу эксперта можно описать следующим алгоритмом:

Шаг 1. Выбрать объект. Эксперт выбирает необходимый объект.

Шаг 2. Получить параметры. Открывается окно редактирования коэффициентов объекта.

Шаг 3. Изменить параметры. Для данного объекта изменить необходимый параметр.

Например, если пойма пересохла, то, соответственно, эксперт устанавливает для нее коэффициент равный 1, означающее что при движении по данной поверхности никакого сопротивления при движении через данный объект возникать не будет. Рисунок 19.

	IdObject	IdObject Type	IdFigure Type	Description	K
1	34	7	1	Пойма реки	1

Рисунок 19 – Изменение коэффициентов объектов.

Вторым примером будут объекты S_1 - S_7 , данные объекты относятся к типу «Дорога». Для данных объектов введена таблица характеристик дороги, состоящая из следующих полей:

1. IdObject – ID объекта;
2. MaxWidht – ширина дорожного полотна;
3. K_ weight – коэффициент влияния загруженности техники на проходимость.

Рассмотрим участок дороги, который после дождя становится труднопроходимым. Рисунок 20.



Рисунок 20 – Часть проселочной дороги.

Как и в первом случае эксперт знает какие дорожные объекты становятся труднопроходимыми после дождя.

Опишем работу эксперта в этом случае:

Шаг 1. Выбрать объект. Эксперт выбирает необходимый объект.

Шаг 2. Получить параметры. Открывается окно редактирования коэффициентов объекта.

Шаг 3. Изменить параметры. Для данного объекта изменить необходимый параметр. Рисунок 21.

	IdObject	IdObjectType	IdFigureType	Description	K
1	22	5	2	Проселочная дорога	1,5

Рисунок 21 – Изменение коэффициентов объектов дорог

Шаг 4. Изменить дополнительные характеристики. Если необходимо изменить дополнительные характеристики объекта, то открывается окно с характеристиками дороги. Рисунок 22.

	IdObject	MaxWidht	K_weight
1	22	10	2

Рисунок 22 – Характеристики дорожного покрытия

При построении маршрута с учетом транспортного средства данные параметры влияют на коэффициент сопротивления движения:

1. Если ширина транспортного средства превышает параметр MaxWidht, то коэффициенту присваивается значение близкое к бесконечности.

2. Если значение $K_weight \geq 1$, то коэффициент умножается на значение K_{wt} , вычисляемый по формуле:

$$K_{wt} = K_{weight} * Mass * 10^{-4}, \quad (7)$$

где K_{weight} – коэффициент влияния загруженности техники на проходимость

$Mass$ – масса транспортного средства

Для расчета скорости транспортного средства на участке введем коэффициент, на который будет умножаться скорость:

$$K_s = \frac{1}{K}, \quad (8)$$

где K – коэффициент сопротивления движения на участке.

Рассмотрим примеры случаев, когда изменяются коэффициенты сопротивления движения:

1. После дождя ручей, через который раньше можно было проехать с коэффициентом сопротивления 2, затопило. В этом случае к данному объекту эксперт вносит новый коэффициент равному $+\infty$. Рисунок 23;

IdObject	IdObjectType	IdFigureType	Description	K
11	7	1	Брод	infinity

Рисунок 23 – Изменение объекта из преодолимого в непреодолимый

2. Осушение территории. В этом случае эксперт изменяет тип объекта и присваивает ему коэффициент. Рисунок 24.

IdObject	IdObjectType	IdFigureType	Description	K
8	2	2	Осушенная территория	1,3

Рисунок 24 – Присвоение коэффициента объекту

3.3 работа ЛПР с подсистемой

Практическое применение подсистемы может обуславливаться построением маршрутов до интересующих ЛПР объектов и определением экономической эффективности построенных маршрутов. Так как существует множество негативных факторов как антропогенных, так и абиотических, которые негативно сказываются на возможность прокладывать маршруты до тех или иных объектов. Для того что бы определить экономическую эффективность маршрута до объекта необходимо учитывать множество факторов. Одними из таких факторов являются затраты, связанные с местоположением участка и возможностью добраться до него.

Оценка оптимального маршрута до объекта представляет из себя расчет минимальных значений затратных показателей, которые показывают, насколько затраты на передвижение целесообразны по сравнению с предполагаемой прибылью.

Данная задача является многокритериальной и описывается оценочной формулой расчета стоимости маршрута, отражающей расстояние между начальной и целевой точками, измеряемая в км:

$$f(y) = k_1y_1 + k_2y_2 + \dots + k_ny_n, \quad (9)$$

где $k_1 \dots k_n$ – весовые коэффициенты,

y_1 – минимальное расстояние между пунктами А и Б,

y_2 - маршрут с точки зрения минимальности затрат ГСМ.

y_n – n-ый критерий, необходимый эксперту.

В результате для определения оптимального маршрута необходимо найти $\min(f(y))$.

Расчет коэффициентов веса показателей и соответствующих коэффициентов выполняется по расставленным экспертами весам и баллам в соответствии с выражением:

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^n p_{ik} \times w_k}{\sum_{k=1}^n w_k}, \quad (10)$$

где W_i - расчетные значения коэффициентов по весу показателей;

p_{ik} - значения весов и баллов по весу показателей согласно варианту k-го эксперта;

w_k - весомость k-го эксперта;

k - количество экспертов, принявших участие в оценивании значимости критерия (рекомендуется 4–6 человек);

Вторым критерием оптимальности маршрута является затраты на ГСМ, для расчета которого введем формулу:

$$Z_{\text{ГСМ}} = P_{\text{час}} * T_{\text{общ}}, \quad (11)$$

где $P_{\text{час}}$ – расход топлива в час,

$T_{\text{общ}}$ – время, затраченное на весь маршрут.

$P_{\text{час}}$ рассчитывается как:

$$P_{\text{час}} = P_{\text{уд}} * M_{\text{дв}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельный расход топлива,

$M_{\text{дв}}$ – мощность двигателя.

Затраченное время можно представить, как сумму времени, затраченного на каждый участок маршрута:

$$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2 + \dots + T_n \quad (13)$$

Для каждого участка маршрута затраченное время представляет из себя отношение расстояния этого участка к максимально возможной скорости на нем:

$$T_i = S_i / v_{\max_i}, \quad (14)$$

где v_{\max_i} – максимально возможная скорость на участке.

Этот параметр зависит как от типа объекта, через который строиться маршрут, так и от дополнительной информации, которую вводит оператор. Так, например, если после дождя размыло один из участков и коэффициент сопротивления движения на нем вводится равным двум, то максимальная скорость уменьшается соответственно в два раза.

3.3.1 Методика внесения оперативной информации

Методика внесения оперативной информации состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Выбор участков с затрудненной проходимостью через графический интерфейс. Для этого на данном шаге оператору выводится топографическая карта местности, с расположенными на ней объектами.

Шаг 2. Внесение информации об участке. После выбора объекта оператору открывается таблица для заполнения соответствующих параметров:

- Описание проблемы;
- коэффициент сопротивления движения.

Данный шаг показан на рисунке 25.

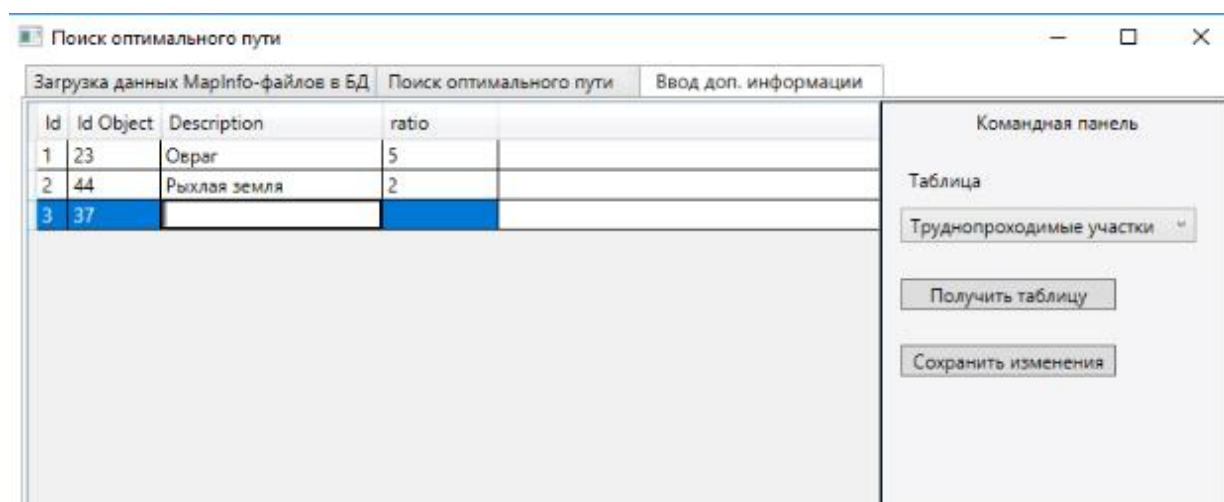


Рисунок 25 – Заполнение параметров для выбранного участка

Шаг 3. Отображение результата. После внесенной оперативной информации, оператору открывается окно предварительного просмотра. Рисунок 26.

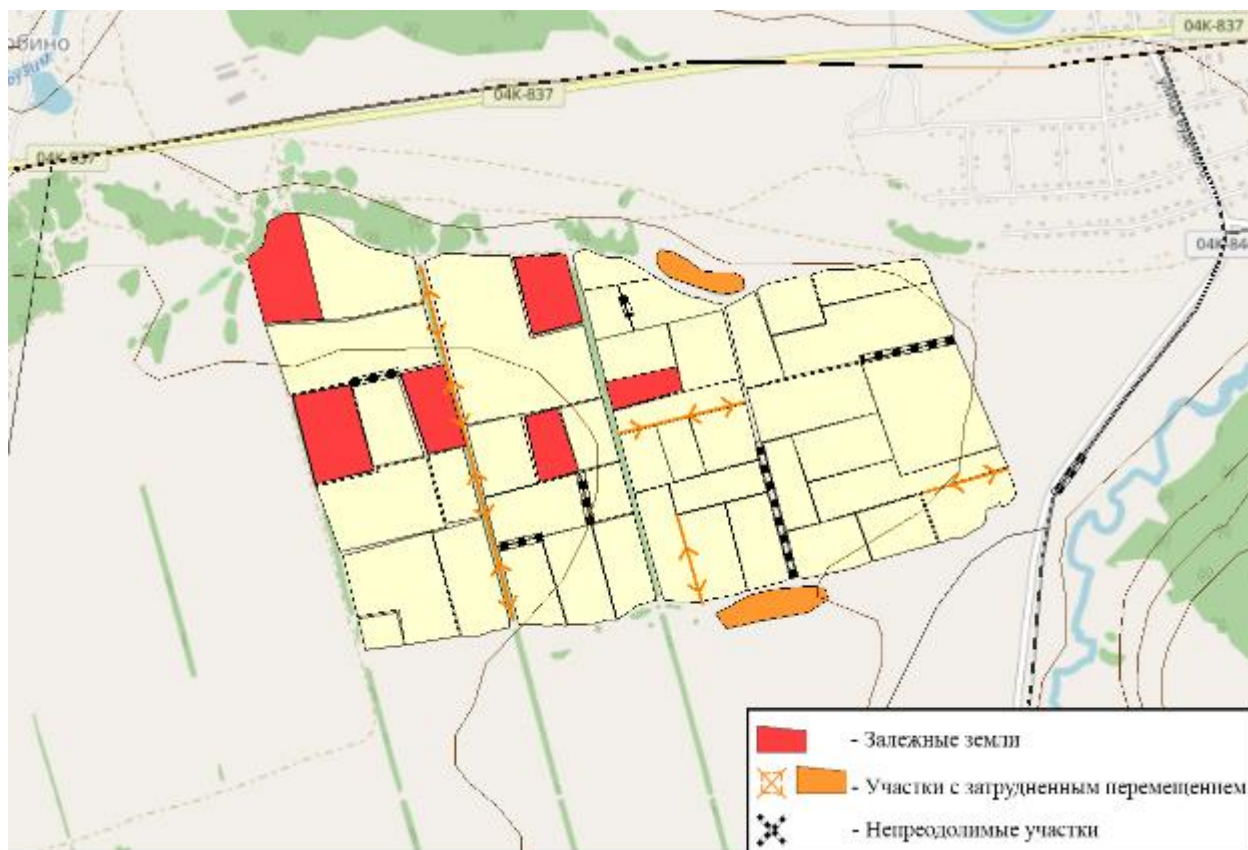


Рисунок 26 – Карта с внесенной оперативной информацией.

3.3.2 Алгоритм расчета маршрута

Дальнейшим действием является алгоритм расчета маршрута:

Шаг 1. Графическое отображение области поиска. Открывается окно с топографической картой и внесенной оператором информацией.

Шаг 2. Выбор начальной и целевой точки. Для построения маршрута на карте местности необходимо установить соответствующие маркеры.

Шаг 3. Выбор параметров поиска. Для поиска необходимо задать необходимые параметры. Рисунок 27.

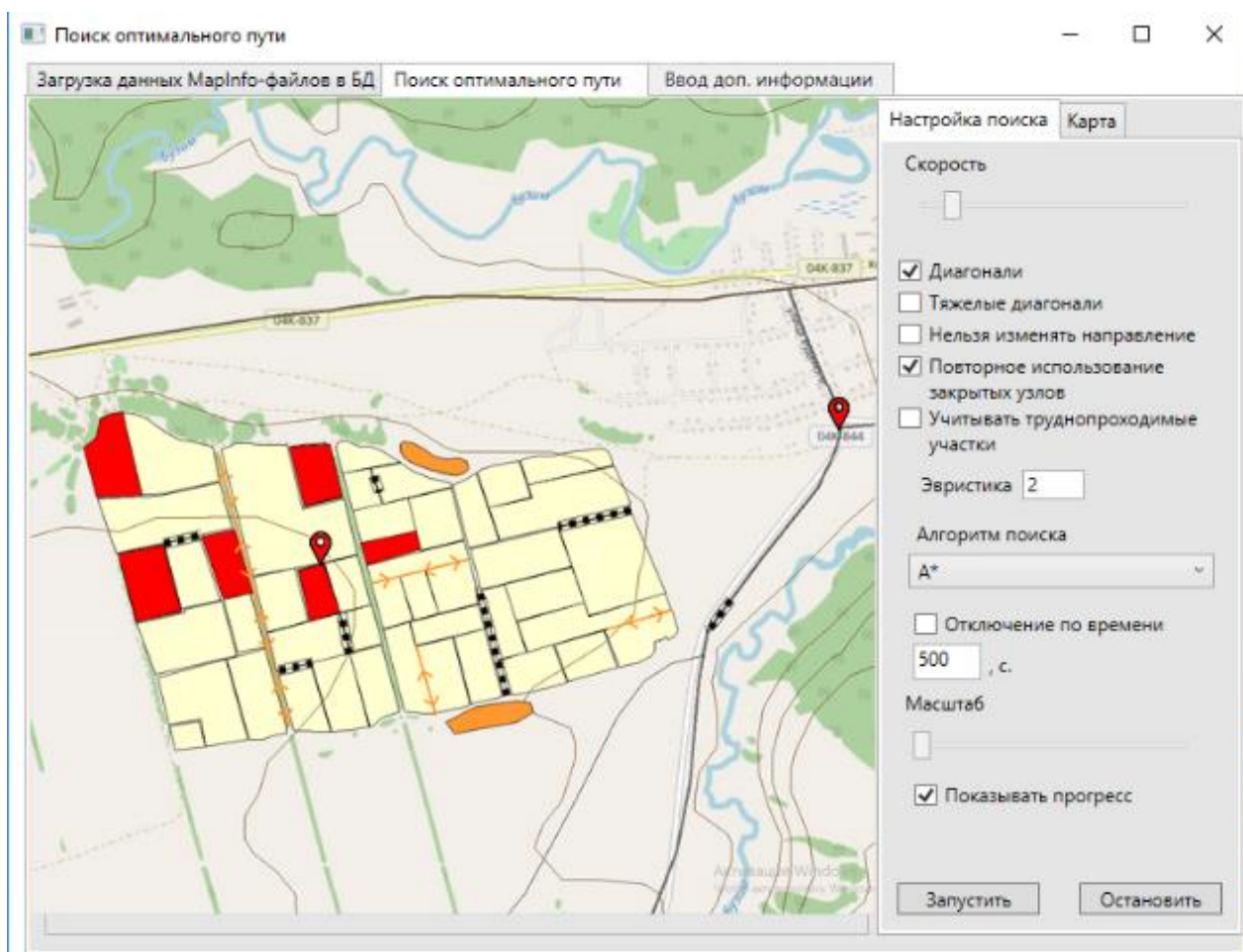


Рисунок 27 – Вкладка с настройками.

Возможные параметры:

- скорость – элемент регулирующий скорость рендеринга алгоритма поиска маршрута, при передвижении бегунка изменяется задержка между шагами выполнения алгоритма поиска;
- диагонали – отвечает за возможность поиска пути по диагонали;
 - если установлен флаг, то алгоритм поиска пути рассматривает все 8 окружающих точек от текущей точки;
 - если установлен флаг не выставлена, то алгоритм поиска пути рассматривает только 4 соседние точки, точки, находящиеся на диагонали к текущей точке, не рассматриваются.
- тяжелые диагонали – отвечает за стоимость прохождения алгоритма по диагонали, работает при выставленной галочке «диагонали». При выставленной галочке стоимость пересечения диагонали алгоритмом поиска будет считаться выше, чем при отключенной галочке;
- нельзя изменять направление – отвечает за поиск алгоритмом по направлениям, поиск идет от стартовой точки и направление поиска не меняется во время работы алгоритма. Если установлен флаг, то каждый раз, когда алгоритм будет менять направление, цена маршрута будет увеличиваться. В результате будет найден более гладкий путь с меньшим количеством изменений направлений. При выставленной галочке сначала идет вертикальный поиск по карте, а затем от каждой точки начинается поиск по горизонтали.
- повторное использование закрытых узлов – позволяет алгоритму вновь открывать узлы, которые были закрыты, если стоимость меньше у предыдущих узлов. Находит более прямой путь, но за большее время;
- учитывать труднопроходимые участки – при включенной этой функции, система прокладывает путь с учетом коэффициентов проходимости. При коэффициенте отличным от нуля стоимость анализируемого узла умножается на этот коэффициент;

- формула – выбор уравнения использующегося в качестве метрики для расчета расстояния в алгоритме;
- выключение по времени – позволяет ставить ограничение по времени на поиск пути, если за заданное время не будет найден путь, то программа остановится;
- временной лимит – введенное ограничение по времени на поиск маршрута, при окончании которого программа остановится;
- масштаб - позволяет регулировать масштаб показываемой карты, при уменьшении масштаба будет увеличиваться линия найденного маршрута;
- показать прогресс – позволяет просматривать пользователю пошагово весь ход работы алгоритма поиска если флаг установлен.

Шаг 4. Выполнение поиска алгоритмом A^* . На полученной матрице поиска выполняется построение маршрута алгоритмом A^*

Шаг 5. Из найденных маршрутов согласно формуле (9), выбирается маршрут, удовлетворяющий критерию $\min(f(y))$.

Шаг 6. Отображение полученного маршрута. На топографическую карту накладывается найденный оптимальный маршрут. На рисунках 28-29 показаны маршруты без учета затрудненных участков и с ними.

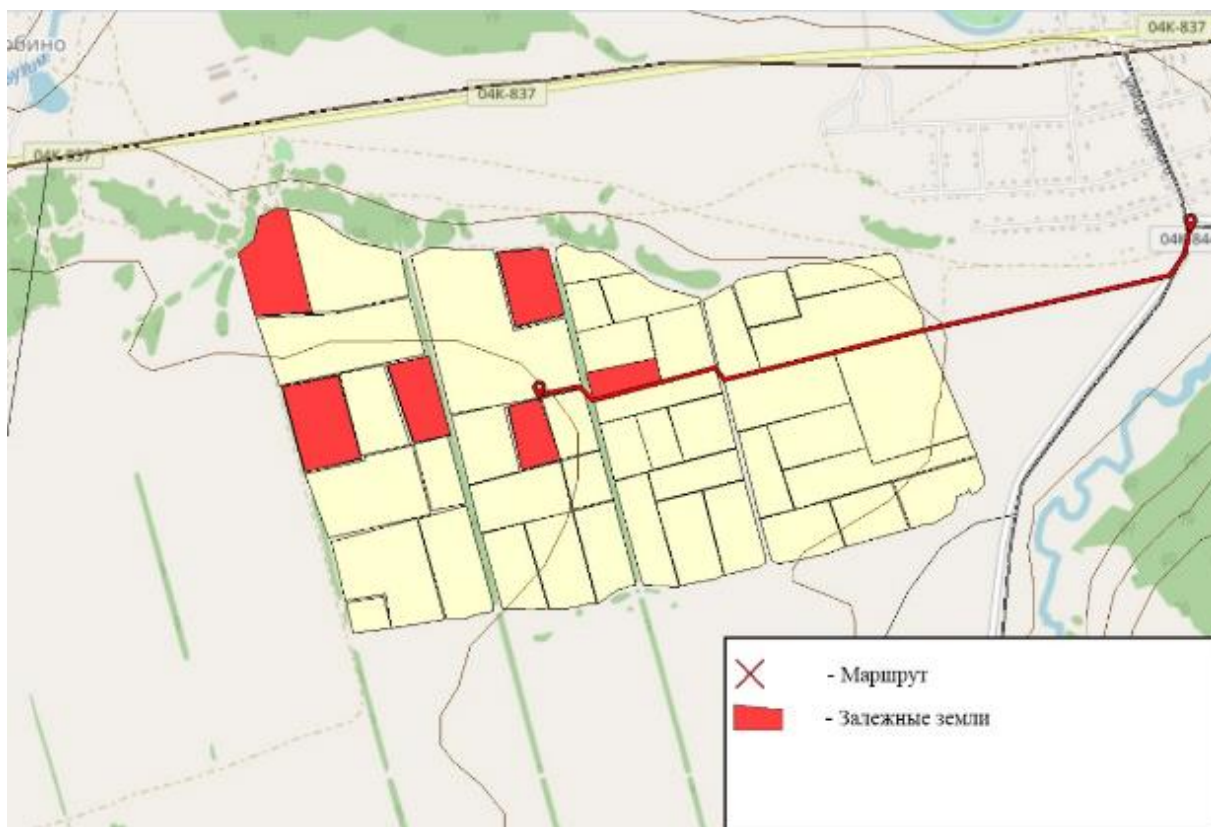


Рисунок 28 – маршрут без учета обхода затрудненных участков

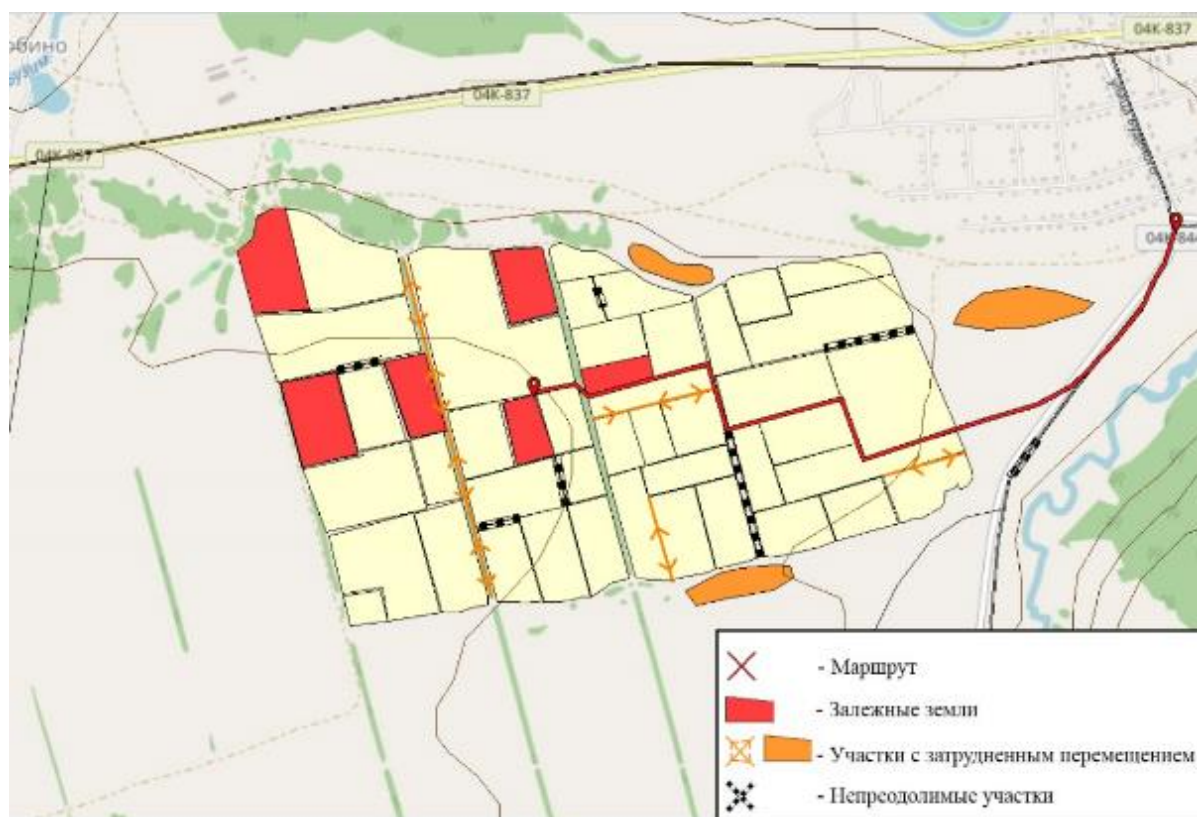


Рисунок 29 – построение маршрута с учетом обхода затрудненных участков

На рисунках видно, насколько разные получаются маршруты с учетом и без учета оперативной информации. В первом случае маршрут построен без учета антропогенных, сезонных и внешних факторов, поэтому получен почти прямой маршрут до объекта равный 2,4 км. Во втором же случае маршрут учитывая, внесенные оператором, препятствия равен 3 км.

3.3.3 Расчет маршрута с учетом затрат ГСМ

Для расчета оптимального маршрута по второму параметру рассмотрим случай с конкретной техникой:

Расчет оптимального маршрута для комбайна ДОН-1500Б.

Шаг 1. Получить характеристики техники. Характеристики данной транспортной единицы приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Таблица характеристик ДОН-1500Б

Показатель	Значение	Единица измерений
$P_{уд}$, удельный расход топлива	162	гр/(л.с.*ч)
$M_{дв}$, мощность двигателя	235	л.с.
V_{max_t} , максимальная скорость техники	22	км/ч
Mass, масса транспортного средства	12590	кг

Шаг 2. Построение маршрута. Построение маршрута происходит в соответствии с алгоритмом, приведенным выше.

Шаг 3. Нахождение однородных участков. Весь маршрут делится на однородные участки, на этих участках в матрице поиска не должно происходить изменение веса шага. В результате получены 3 участка. Рисунок 30.

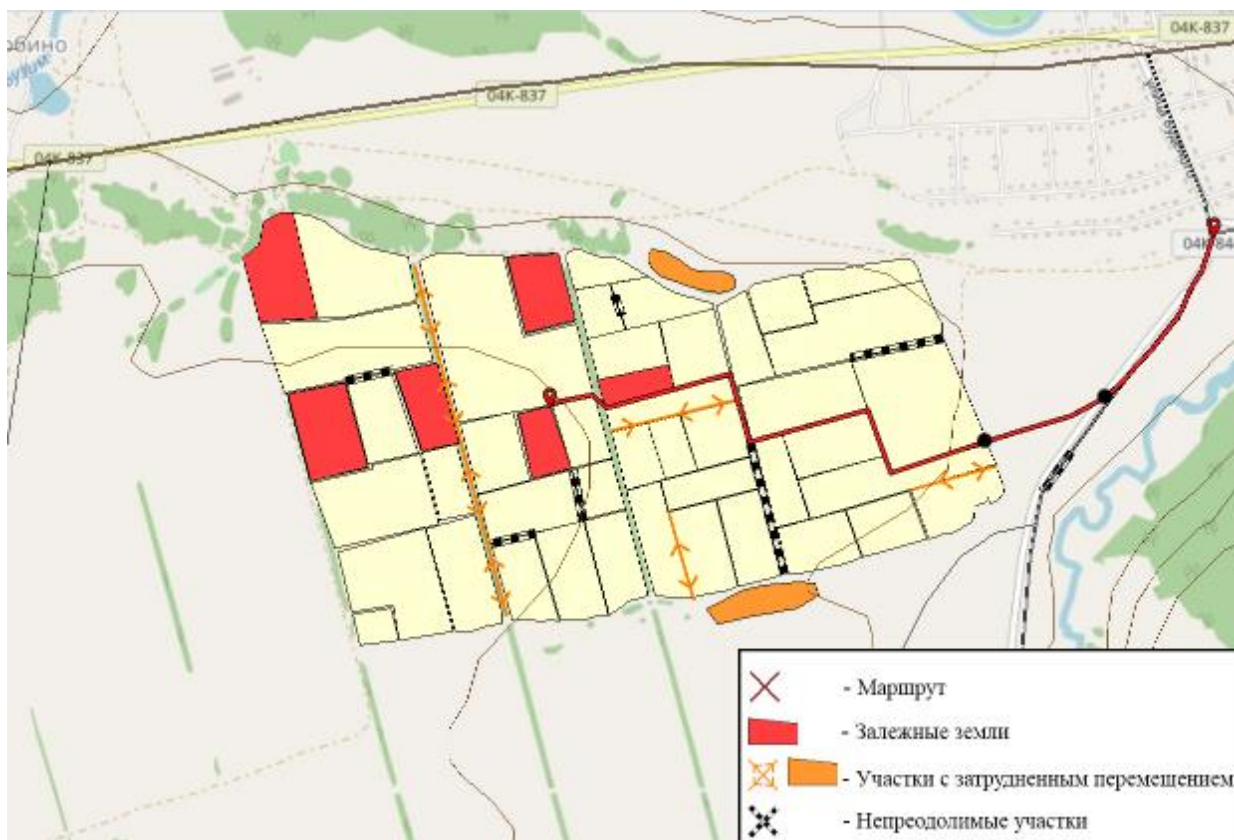


Рисунок 30 – Проложенный маршрут

Шаг 4. Определение скоростных ограничений. В зависимости от значения коэффициента сопротивления движения в матрице поиска получаем максимальное значение скорости передвижения техники:

1. Первый участок от населенного пункта до первой точки. Так как никаких затруднений на нем не возникает то максимальная скорость ничем не ограничивается и равна 22 км/ч ;
2. на втором участке маршрут идет по пересеченной местности, где коэффициент затруднения движения равен 1,2, поэтому максимальная скорость ограничивается до $17,6 \text{ км/ч}$;
3. для третьего участка коэффициент затруднения движения равен 2, что приводит к снижению максимальной скорости до 11 км/ч .

Шаг 5. Вычисление временных характеристик для каждого участка в соответствии с формулой (14). Получены следующие значения:

1. $T_1 = S_1/v_{\max_1} = 0,75 / 22 = 0.034$ час;
2. $T_2 = S_2/v_{\max_2} = 0,375 / 17,6 = 0.021$ час;
3. $T_3 = S_3/v_{\max_3} = 1,875 / 11 = 0,17$ час.

Шаг 6. Вычисление общего затраченного времени. В соответствии с формулой (13) вычисляем общее время, затраченное на маршрут:

$$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2 + T_3 = 0.034 + 0.021 + 0,17 = 0,225 \text{ час}$$

Шаг 7. Вычисление расходуемого количества ГСМ транспортной единицей по формуле (12):

$$P_{\text{час}} = P_{\text{уд}} * M_{\text{дв}} = 162 * 235 = 38,07 \text{ кг/ч}$$

Шаг 8. Получаем затраты ГСМ по формуле (11):

$$Z_{\text{ГСМ}} = P_{\text{час}} * T_{\text{общ}} = 38,07 * 0,225 = 8,57 \text{ кг}$$

Шаг 9. Перевести количество затраченного ГСМ из кг. в литры. В зависимости от сезона дизельное топливо занимает разный объем:

- Летнее дизельное топливо: Плотность: 860 кг/м³. В 1 кг - 1,16 литра;
- зимнее дизельное топливо: Плотность: 840 кг/м³. - 1,19 литра.

В данном случае маршрут строится в летнее время, проведем расчет:

$$Z_{\text{ГСМ_л}} = 8,57 * 1,16 = 9,94 \text{ л.}$$

Шаг 10. Перевести полученное количество топлива в денежный эквивалент. На данный момент стоимость одного литра дизельного топлива в Красноярском крае равен 46.14 руб.. В результате получаем:

$$З_{гсм_р} = 9,94 * 46.14 = 458,63 \text{ руб.}$$

Шаг 11. Отобразить полученный результат оператору. Все данные отображаются в виде таблицы 6.

Таблица 6 – Расчеты экономической эффективности проложенного маршрута

Показатель	Расчетное значение
T_1	$T_1 = S_1 / v_{\max_1} = 0,75 / 22 = 0.034 \text{ час}$
T_2	$T_2 = S_2 / v_{\max_2} = 0,375 / 17,6 = 0.021 \text{ час}$
T_3	$T_1 = S_1 / v_{\max_1} = 1,875 / 11 = 0,17 \text{ час.}$
$T_{\text{общ}}$	$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2 + T_3 = 0.034 + 0.021 + 0,17 = 0,225 \text{ час}$
$P_{\text{час}}$	$P_{\text{час}} = P_{\text{уд}} * M_{\text{дв}} = 162 * 235 = 38,07 \text{ кг/ч}$
$З_{\text{гсм}}$	$З_{\text{гсм}} = P_{\text{час}} * T_{\text{общ}} = 38,07 * 0,225 = 8,57 \text{ кг}$
$З_{\text{гсм_л}}$	$З_{\text{гсм_л}} = З_{\text{гсм}} * K_{\text{гсм}} = 8,57 * 1,16 = 9,94 \text{ литра}$
$З_{\text{гсм_р}}$	$З_{\text{гсм_р}} = З_{\text{гсм_л}} * K_{\text{л}} = 9,94 * 46.14 = 458,63 \text{ руб.}$

В результате получаем, что для построенного маршрута и выбранной техники будет затрачено 9,94 литра ГСМ либо в перерасчете в денежный эквивалент 458,63 руб.

3.3.4 Практическая апробация подсистемы

Практическая апробация производилась при решении задачи моделирования маршрутов для предприятия «Дары малиновки». Данное предприятие занимается растениеводством (выращивание пшеницы, ячменя, овса, рапса, картофеля, моркови, сахарной свеклы, капусты),

животноводством (молочное производство), семеноводство, а также переработкой и хранением зерна и овощей. Для апробации были взяты поля предназначенные для выращивания пшеницы.

Ход работы можно разделить на следующие шаги:

Шаг 1. Получение данных за прошлый год. Были получены данные перемещения техники за май 2017 года от предприятия до полей сельхоз назначения.

Шаг 2. Прогнозирование маршрутов. С помощью системы спрогнозированы маршруты с учетом поступающей оперативной информации на каждый день.

Шаг 3. Получение фактических данных. Получение данных по фактическому перемещению техники.

Шаг 4. Формирование результатов. Для наглядного представления эксперимента составлена таблица о результатах работы. Таблица 7.

Таблица 7 – Результаты эксперимента

Дата	Вид работы	расстояние от исходной точки до целевого объекта, км.			количество ед. техники	количество заездов для 1 ед.техники	сумма расстояний от исходной точки до целевого объекта, км		
		данные за прошлый год	прогнозируемое с учетом преград	фактически пройденное			данные за прошлый год	прогнозируемое с учетом преград	фактически пройденное
01.05.2018	вспашка	3,31	2,96	3	7	2	46,34	41,44	42
02.05.2018	вспашка	3,12	3,01	3,06	6	2	37,44	36,12	36,72
03.05.2018	вспашка	2,92	3,09	3	10	2	58,4	61,8	60
04.05.2018	вспашка	3,11	2,96	2,85	9	2	55,98	53,28	51,3
07.05.2018	вспашка	3,04	2,96	3	10	2	60,8	59,2	60
08.05.2018	вспашка	3,37	3	3,1	8	2	53,92	48	49,6
09.05.2018	боронование	3,15	3,01	3	10	2	63	60,2	60
10.05.2018	боронование	3,43	3,01	3	10	2	68,6	60,2	60
11.05.2018	боронование	2,92	3,09	3	6	3	52,56	55,62	54
14.05.2018	боронование	2,87	2,97	2,95	6	2	34,44	35,64	35,4
15.05.2018	внесение удобрений	3,19	2,94	2,9	7	2	44,66	41,16	40,6
16.05.2018	внесение удобрений	3,03	2,98	3	5	2	30,3	29,8	30
17.05.2018	внесение удобрений	3,31	3	3	6	2	39,72	36	36
18.05.2018	внесение удобрений	3,10	2,94	2,9	5	2	31	29,4	29
21.05.2018	внесение удобрений	3,33	3,08	3,14	9	2	59,94	55,44	56,52
22.05.2018	посев	3,49	3,09	3,15	8	2	55,84	49,44	50,4
23.05.2018	посев	3,17	3,09	3	8	2	50,72	49,44	48
24.05.2018	посев	3,25	3,03	3,05	10	2	65	60,6	61
25.05.2018	посев	3,24	2,9	2,97	6	2	38,88	34,8	35,64
28.05.2018	посев	3,40	2,96	2,92	6	2	40,8	35,52	35,04
29.05.2018	посев	3,41	3,05	3,07	8	2	54,56	48,8	49,12
30.05.2018	химическая защита всходов	3,00	2,94	2,99	10	2	60	58,8	59,8
31.05.2018	химическая защита всходов	3,39	3,06	3	8	2	54,24	48,96	48
							1157,14	1089,66	1088,14

По полученным результатам видно, что прогнозируемые затраты на маршрут (расстояние, ГСМ) близки к фактическим с использованием системы.

Шаг 5. Наглядное представление данных. Для более наглядного представления для полученных данных сформирован график «Отчет по пройденному расстоянию». Рисунок 31.



Рисунок 31 – Отчет по пройденному расстоянию

Из отчета видно, насколько пройденное расстояние изменилось по сравнению с прошлым годом, а фактические и прогнозируемые значения за текущий год почти совпадают.

3.4 Выводы по главе 3

В результате работы была описана библиотека взаимодействия с базой данных для хранения данных из MapInfo-файлов, а также алгоритмы и методы обработки этих данных. Была разработана и реализована метрика представления данных MapInfo-файлов в БД и реализовано дальнейшее использовать полученных данных в программе поиска маршрута. Для

нахождения различных маршрутов в программу были введены дополнительные настройки, все настройки программы описаны в 3 главе.

Описана работа с подсистемой со стороны эксперта и лица принимающего решение. Было проведено тестирование программы, в результате которого с разными настройками программы были найдены различные маршруты, показаны маршруты. Проведена апробация подсистемы на данных предприятия «Дары малиновки», предоставлены данные показывающие эффективность данной подсистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана метрика для геопространственного моделирования маршрутов, описаны необходимые для применения алгоритмы, такие как алгоритм A^* для поиска по матрице значений и алгоритм Брезенхема необходимый для заполнения матрицы значений по данным из БД. Описан пошаговый алгоритм заполнения матрицы значений, приведены примеры используемых в программе константных значений.

В проекте подсистемы описан функционал, отображенный с помощью UML – диаграмм, а также построена модель с помощью диаграммы IDEF0.

В результате работы была разработана структура базы данных для хранения данных из MapInfo-файлов. Была разработана и реализована метрика представления данных MapInfo-файлов в БД и реализовано дальнейшее использовать полученных данных в программе поиска маршрута. Для нахождения различных маршрутов в программу были введены дополнительные настройки. Было проведено тестирование программы, в результате которого с разными настройками программы были найдены различные маршруты. Проведена апробация программы в результате которой были получены данные, показывающие эффективность подсистемы для предприятий сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДЗЗ – дистанционное зондирование земли

ЗСХН – земля сельскохозяйственного назначения

ЗЗ – залежная земля

АРМ - Автоматизированное рабочее место

ГИС – геоинформационная система

ГПО – геопространственный объект

ЖД – железнодорожный

КСД – коэффициент сопротивления движения

БД – База данных

СУБД – система управления базами данных

ID – identification

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ЛПР – лицо принимающее решение

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яндекс.Карты. Режим доступа:<https://yandex.ru/maps>
2. Беллман Р. Введение в теорию матриц. Наука, 1969. - 368 с.
3. Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации // Информационные процессы, 2014. Том 14, № 3. стр. 265– 266.
4. Басараб, М. А. Алгоритмы решения задачи быстрого поиска пути на географических картах / М. А. Басараб, А. Б. Домрачева, В. М. Купляков // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — Вып. 11. — Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1054.html/>
5. Андрианов, В.Ю. Применение геоинформационных систем на транспорте / В.Ю. Андрианов // Информационные системы. - №4, 2008. — С. 42–45.
6. Берзин, Е. А. Элементарные решения неэлементарных задач на графах / Е. А. Березин ; под ред. А. Н. Кудинова. — Тверь: ТГТУ, 2005.
7. Брауде, Э.Д. Технология разработки программного обеспечения / Э.Д. Брауде. – СПб.: Питер, 2004. – 656 с.
8. Волков, С. Н. Землеустройство. Системы автоматизированного проектирования в землеустройстве. Т. 6 / С. Н. Волков. — М.: Колос, 2002. — 328 с
9. Гулаков, В.К. Исследование эффективности разных подходов к построению пространственно-временных математических моделей траекторий движения мобильных объектов / В.К. Гулаков, Е.О. Трубаков // Вестник БГТУ. – 2014.-№1. – С. 79-86.
10. Гармаев, А. Ю. О применении автоматизированной информационной системы в управлении земельными ресурсами муниципальных образований / А. Ю. Гармаев // Вестник Бурятского гос. ун-та. — Вып. 4: Биология, география. — 2011. — С. 30–33.
11. Гудаев, К. В. Географические информационные системы / К. В. Гудаев, Е. Н. Юров. — Красноярск: ФГОУ ВПО «СГТУ», 2006. — 50 с.

12. Левит, Б.Ю. Алгоритмы поиска кратчайших путей на графе. Труды института гидродинамики СО АН СССР. Сб. «Моделирование процессов управления». Вып. 4. Новосибирск. 1971. с. 1117—148
13. ДеМерс, Н. Н. Географические информационные системы. Основы / Н. Н. ДеМерс, Н. Майкл. Пер. с англ. — М., 1999. — 508 с.
14. Зеньков, И. В. Управление инновационным развитием земельного сектора АПК в Красноярском крае: монография / И. В. Зеньков, Е. В. Логинова. — Красноярск: СФУ, 2013. — 236 с.
15. Мацяшек, Л.А. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0 / Лешек А. Мацяшек. — М.: Вильямс, 2008. — 816 с.
16. Использование данных ДЗЗ для контроля севооборотов на полях пашни / В. И. Повх, Е. А. Воробейчик, Б. Р. Беков, Л. А. Шляхова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2012.— Т. 9. — № 2. — С. 73–77.
17. Степанов, В.П. Оптимизация маршрутов на дорожной сети // Электронный научно-технический журнал. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Наука и образование. Эл. № ФС 77 – 48211, 2012 г. – С. 12. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/369475.html>
18. Капралов, Е. Г. Геоинформатика. / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов. — М.: Изд. центр «Академия», 2005. — 480 с.
19. Кузнецов, М. А. Современная классификация систем поддержки принятия решений / М. А. Кузнецов, С. С. Пономарев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2009. — № 3. — С. 52–58.
20. Трубаков, Е.О. Пользовательское индексирование пространственных объектов в SHAPE файлах // Материалы региональной научной конференции студентов и аспирантов «Достижения молодых ученых Брянской области»: посвящ. 80-летию Брянского государственного технического университета / под ред. И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2010. – С. 260 – 262.

21. 31. Ларичев, О. И. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития / О. И. Ларичев, А. В. Петровский // Итоги науки и техники. — М.: ВИНТИ, 1987. — Т. 21. — С. 131–164. (Сер. Техническая кибернетика).
22. Макеев, М. В. Построение локально-вычислительных сетей и формирование баз данных в крупных сельскохозяйственных предприятиях / М. В. Макеев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. (13–14 мая 2008 г.). Ч. 5. — М.: ГНУ ВИ-ЭСХ, 2008. — 199 с.
23. Ураков, А.Р. Алгоритм поиска кратчайших путей для разреженных графов большой размерности / А.Р. Ураков, Т.В. Тимеряев // Прикладная дискретная математика №1(19), 2013. — С. 84-92.
24. Мамышев, Р. К. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве / Р. К. Мамышев. — М.: Госземкадастръемка, ВИСХАГИ, 2003. — 170 с.
25. Мартынов, К. П. Оценка земель сельскохозяйственного назначения / К. П. Мартынов, Н. П. Огарева // Электронный журнал МГУ. — 2012. — Вып. 4 (18). — 18 с
26. Министерство сельского хозяйства РФ. Концепция развития государственного мониторинга ЗСХН и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mcx.ru/navigation/page/show/320.htm>.
27. Перфильев, С. Е. Структурно-геоморфологический метод картографирования агроландшафтов в космическом индустриально-аграрном мониторинге. / С. Е. Перфильев, Г. М. Цибульский, Ю. А. Маглинец // Проблемы региональной экологии. — 2011. — № 4. — С. 152–158.

28. Поддержка принятия управленческих решений: инструментальноинформационное обеспечение / З. Н. Козенко, А. Ф. Рогачёв, А. Л. Нахшунов, И. А. Карапузов ; под. ред. А. Ф. Рогачёва. — Волгоград: Изд-во Волгоградского гос. ун-та, 2001. — 124 с.

29. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И. Ю. Савин, С. А. Барталев, Е. А. Лупян, В. А. Толпин, С. А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т. 7. — № 3. — С. 275–285.

30. Раевич, К. В. Интеллектуальная система поддержки принятия управленческих решений в задачах оценки земель сельскохозяйственного назначения / К. В. Раевич., И. В. Зеньков // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та.— 2016. — № 5 (112). — С. 95–104.

31. Савченко, О. Ф. Методологические аспекты создания информационных систем в сельском хозяйстве / О. Ф. Савченко // Достижения науки и техники АПК. — 2006. — № 11. — С. 5–9.

32. Свиридов, С. В. Формирование системы информационной поддержки принятия решений в области управления земельными ресурсами / С. В. Свиридов // Экономический вестник Ростовского гос. ун-та. — 2007. — Т. 5. — № 04. — Ч. 3. — С. 321–325.

33. Степанов, В. Н. Дискретная математика: графы и алгоритмы на графах / В. Н. Степанов. — ОмГТУ, 2010. — 120 с.

34. Улезько, А. В. Земельные ресурсы сельского хозяйства: управление воспроизводством и экономическая оценка потенциала: монография / А. В. Улезько, В. Э. Юшкова, А. А. Тютюников. — Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014. — 176 с.

35. Чегодаев, А. И. Математические методы анализа экспертных оценок / А. И. Чегодаев // Вестник Самарского гос. экономического ун-та. — 2010. — № 64. — С. 130–135.

36. Шатрова, К. В. Представление пространственных данных для организации области поиска оптимального маршрута / К. В. Шатрова, Ю. А. Маглинец // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы Междунар. науч. конф. — Красноярск, 23–26 сент. 2014. — Изд-во СФУ, 2014. — С. 345–348.
37. Chen, J.-D. Indexing future trajectories of moving objects in a constrained network / J.-D. Chen, X.-F. Meng // J. Comput. Sci. Technol., 2007. №22(2). P.245-251.
38. Chakka, V. Indexing Large Trajectory Data Sets with SETI / V. Chakka, A. Everspaugh, J. M. Patel // In Conference on Innovative Data Systems Research, 2003
39. Faloutsos C., Rong Y. DOT: A Spatial Access Method Using Fractals. //Proceeding of the 7th IEEE International Conference on Data Engineering, pp. 152-159.
40. Gibbens R.J., Saacti Y. – Road traffic analysis using MIDAS data: journey time prediction. Technical Report. UCAM-CL-TR-676. Computer Laboratory. University of Cambridge. – 2006. – 35p

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Плакаты презентации

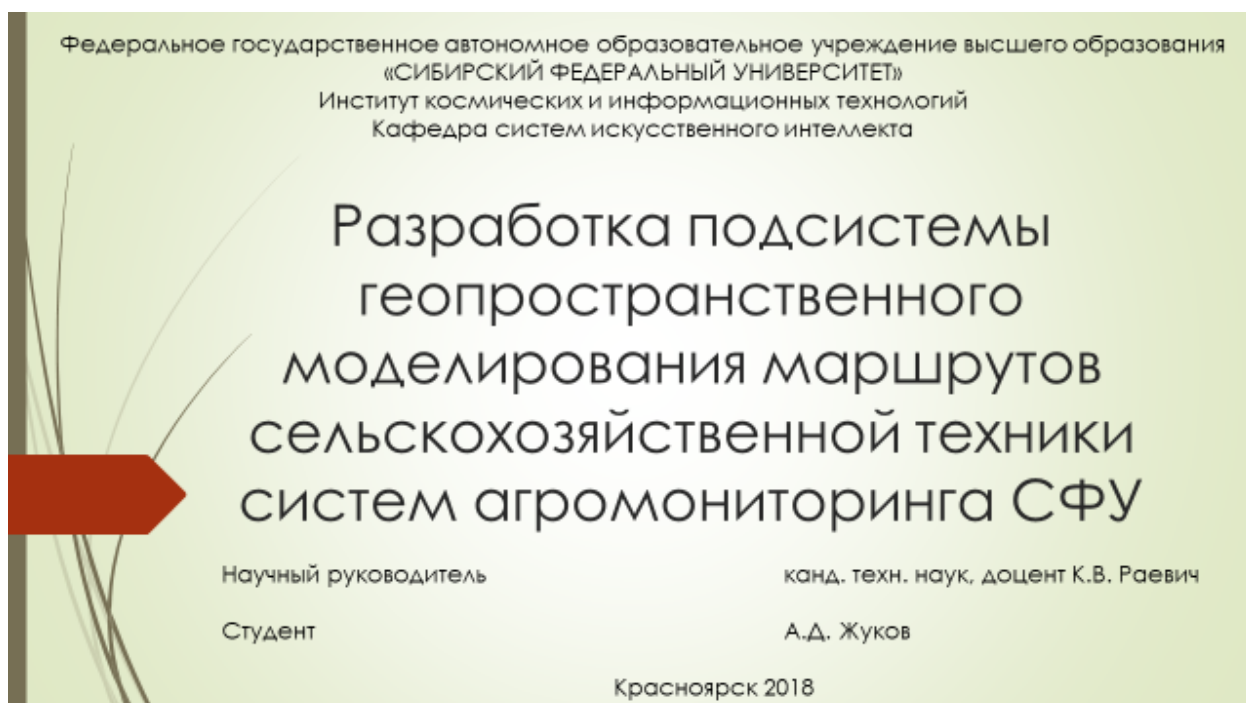


Рисунок А.1 – Слайд презентации №1

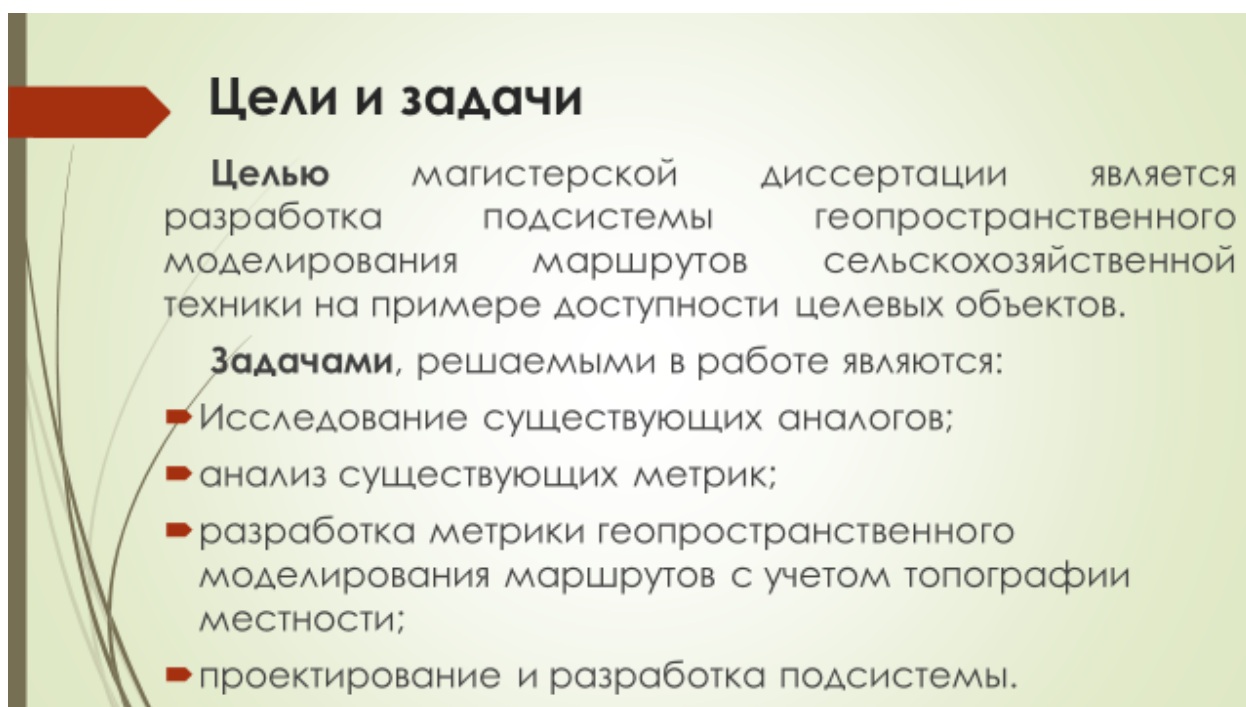


Рисунок А.2 – Слайд презентации №2

Исследование существующих аналогов

Рисунок А.3 – Слайд презентации №3

Построение маршрута на Яндекс картах

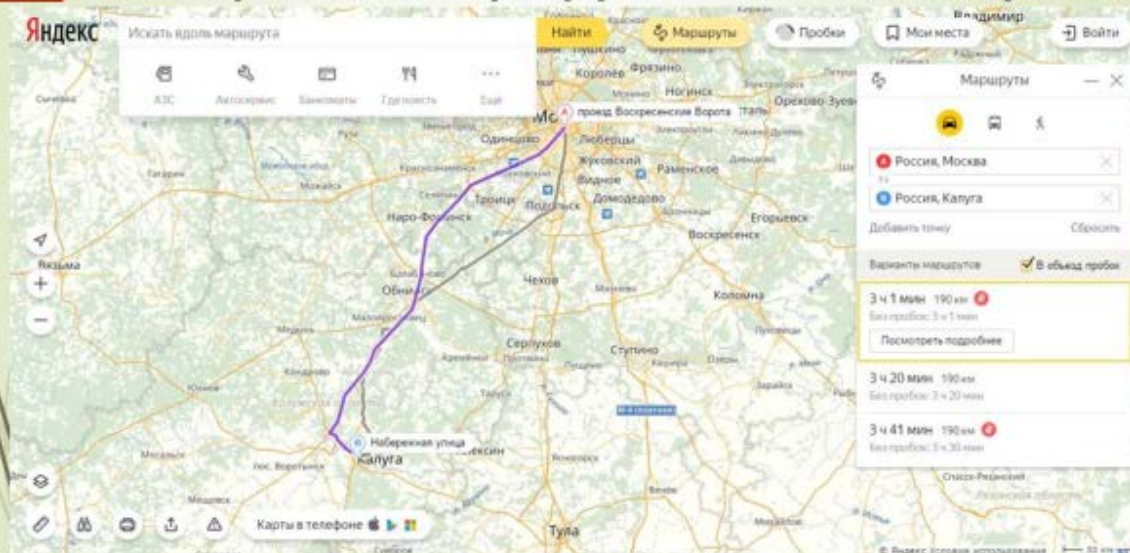


Рисунок А.4 – Слайд презентации №4



Рисунок А.5 – Слайд презентации №5

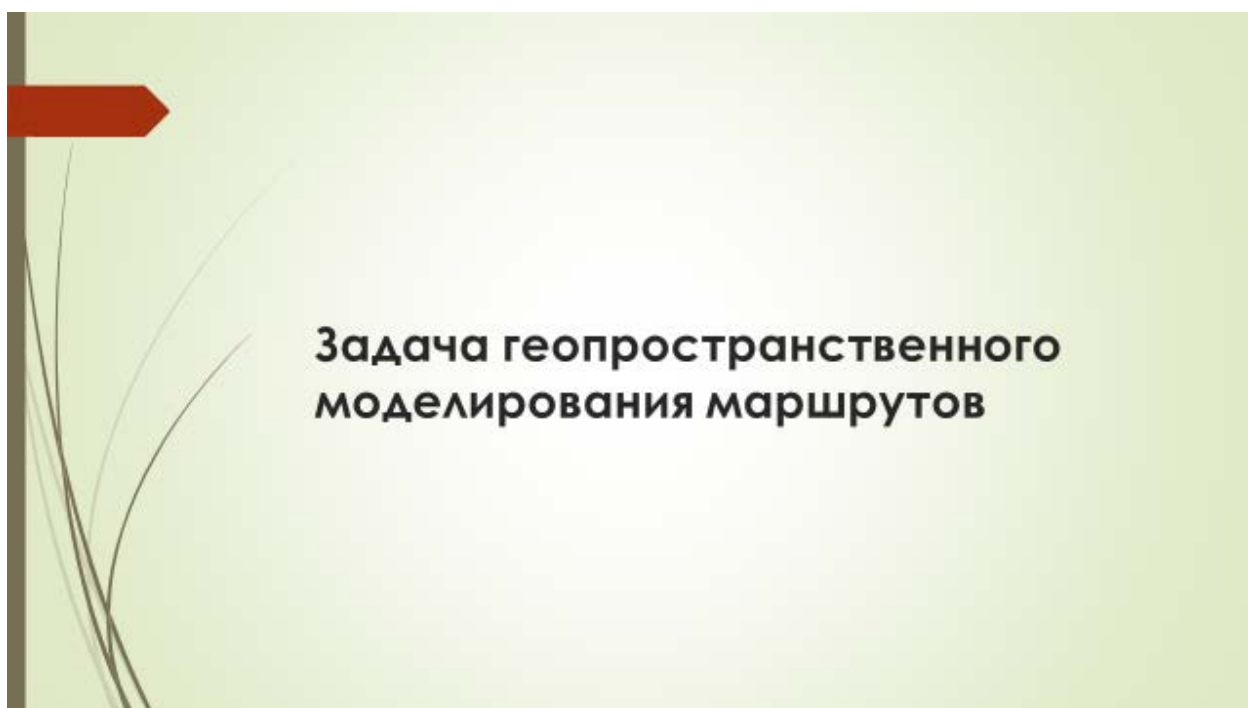


Рисунок А.6 – Слайд презентации №6

Виды и типы преград

Вид объекта	Символ объекта	Тип объекта
Полевая, лесная дорога	S_1	Преодолимый
Автодорога с усовершенствованным покрытием действующая	S_2	Преодолимый
Автодорога с покрытием действующая	S_3	Преодолимый
Автодорога без покрытия	S_4	Преодолимый
Грунтовая проселочная дорога	S_5	Преодолимый
Караванный путь, выючная тропа	S_6	Непреодолимый
Пешеходная тропа	S_7	Непреодолимый
Прочая улица, проезд в ПСТ, ПДТ	S_8	Преодолимый
Улица магистральная в крупном городе	S_9	Преодолимый
Прочая улица, проезд в крупном городе	S_{10}	Преодолимый
Тупик	S_{11}	Непреодолимый
Разъезд, обгонный, остановочный пункт	S_{12}	Преодолимый
Станция ж/д, расположение сбоку или между путями	S_{13}	Преодолимый
Река	S_{14}	Непреодолимый
Река, ручей пересыхающие, шириной менее 20 м	S_{15}	Преодолимый
Река, ручей постоянные, шириной от 20 до 120 м	S_{16}	Непреодолимый
Пойма реки	S_{17}	Преодолимое
Болото проходимое	S_{18}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе основная	S_{19}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе дополнительная	S_{20}	Преодолимое
Горизонталь на рельефе основная утолщенная	S_{21}	Преодолимое

Рисунок А.7 – Слайд презентации №7

Коэффициенты сопротивления движения по поверхности

Название коэффициента	Обозначение коэффициента	Значение сопротивления
Степень горизонтальной линии	K_1	$K_1 = H_{\text{спад}} / H_{\text{вред}}$
Болота	K_2	$K_2 = \text{const.}$
Реки непреодолимые	K_3	$K_3 = +\infty.$
Реки преодолимые	K_4	$K_4 = \text{const.}$
ЖД станции	K_5	$K_5 = \text{const.}$
Дороги преодолимые	K_7	$K_7 = \text{const.}$
Дороги непреодолимые	K_8	$K_8 = +\infty.$

Рисунок А.8 – Слайд презентации №8

Коэффициенты для оперативной информации

Название коэффициента	Обозначение коэффициента	Значение
Ремонтные работы	K_1	$K_1 = const.$
Размытие дорог	K_2	$K_2 = const.$
Затопление поверхности	K_3	$+\infty$
Изменение плотности поверхности	K_4	$K_2 = const.$
Термокарст	K_5	$K_3 = const.$
Сырая почва	K_6	$K_4 = const.$
Возделанная земля	K_7	$+\infty$
Затопление территории	K_8	$+\infty$
Овраг	K_9	$+\infty$
Преграждение дороги	K_{10}	$+\infty$

Рисунок А.9 – Слайд презентации №9

SADT - модель

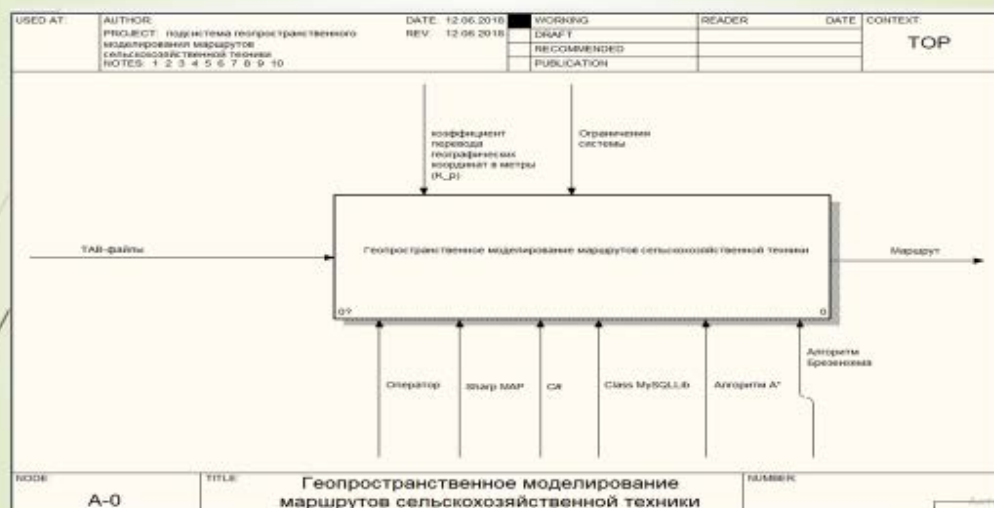


Рисунок А.10 – Слайд презентации №10

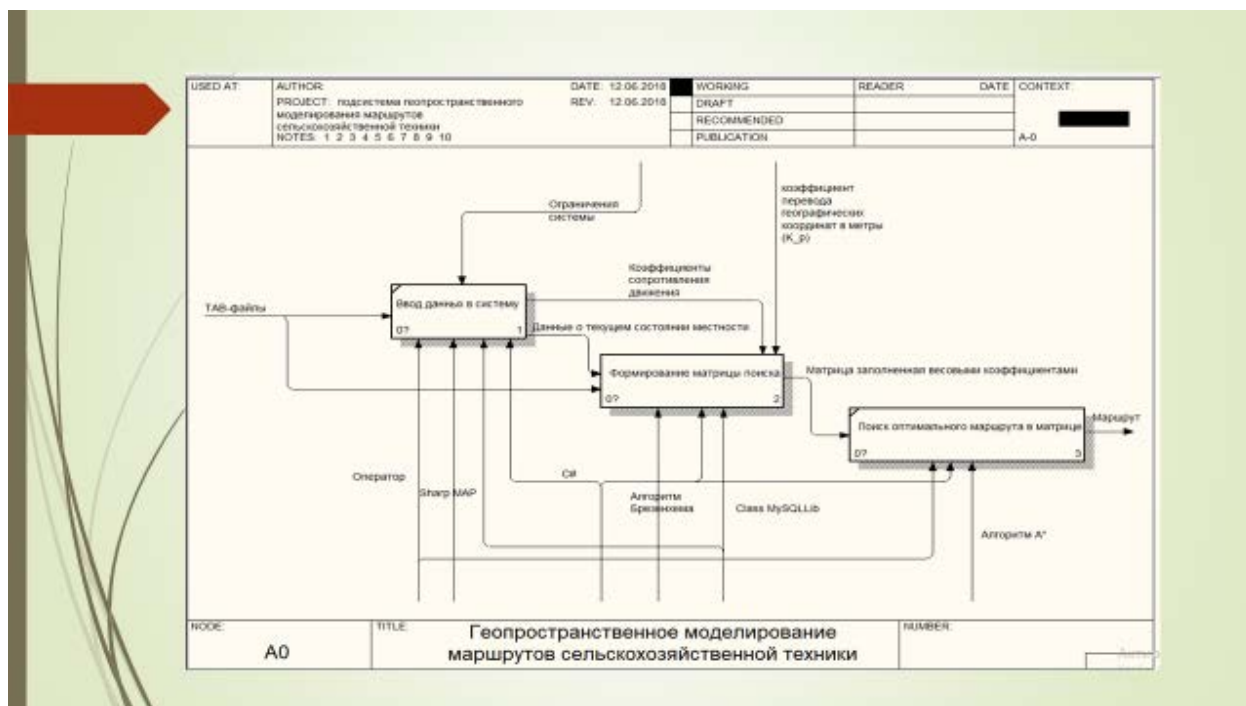


Рисунок А.11 – Слайд презентации №11



Рисунок А.12 – Слайд презентации №12

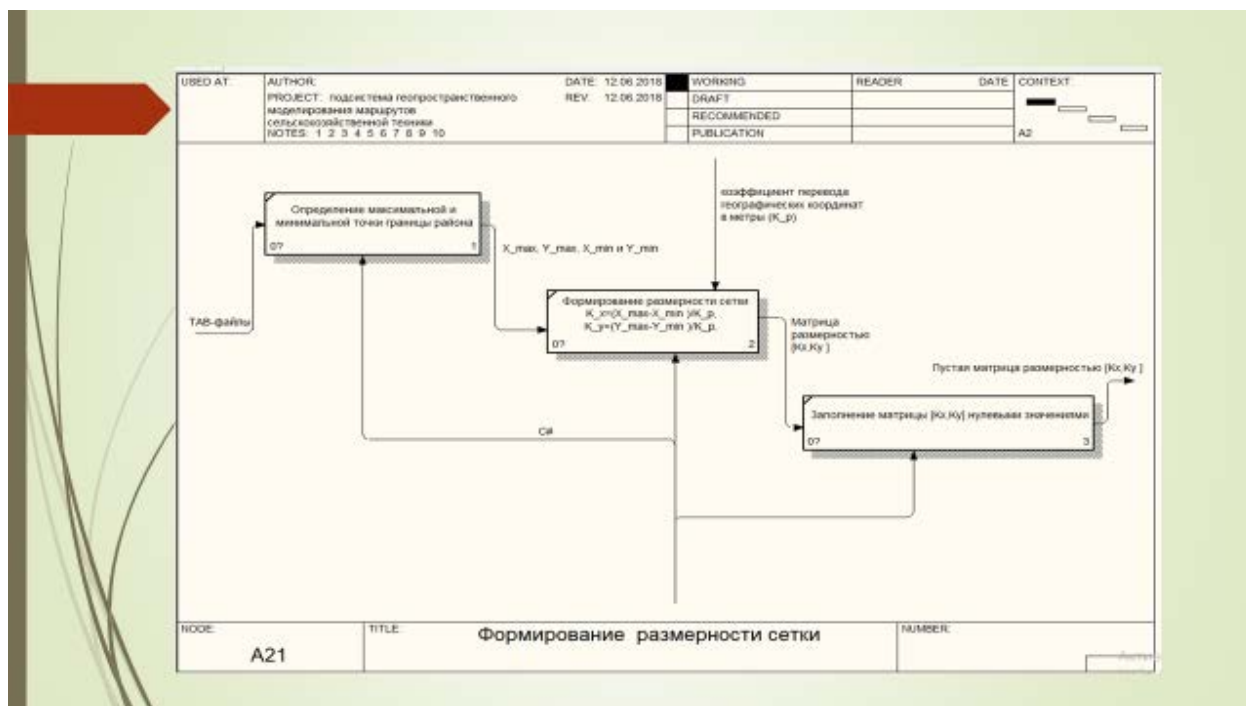


Рисунок А.13 – Слайд презентации №13

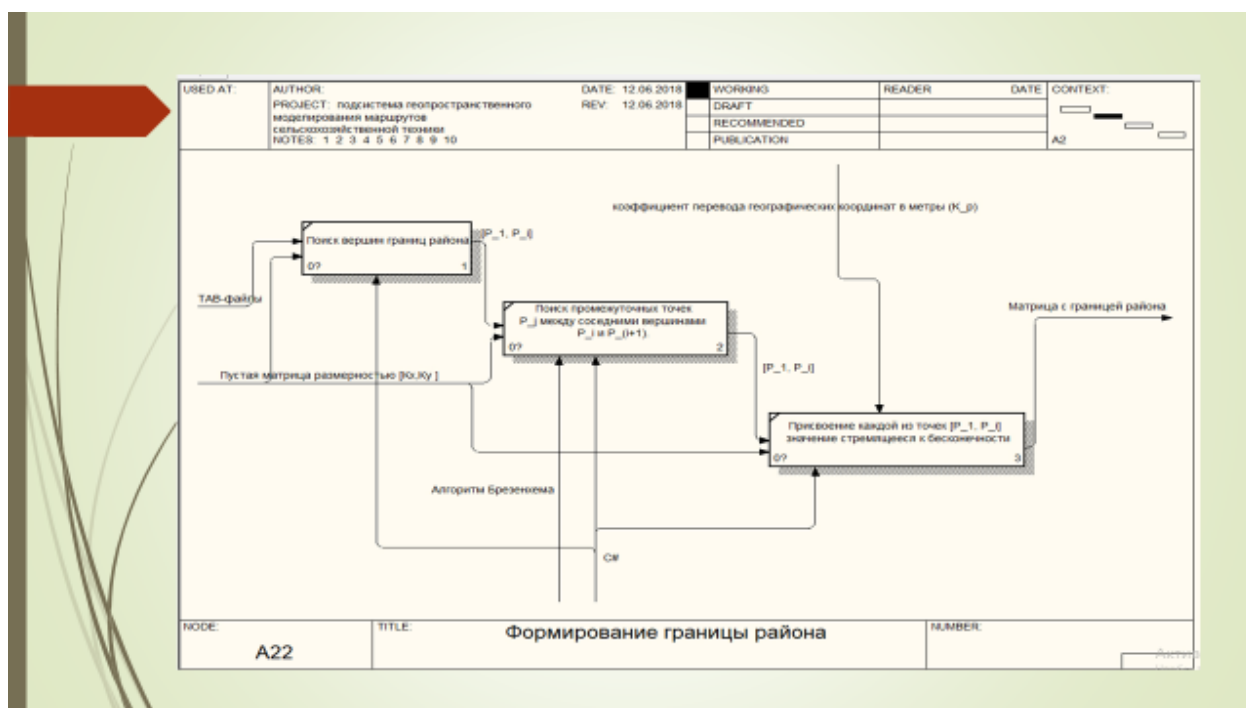


Рисунок А.14 – Слайд презентации №14

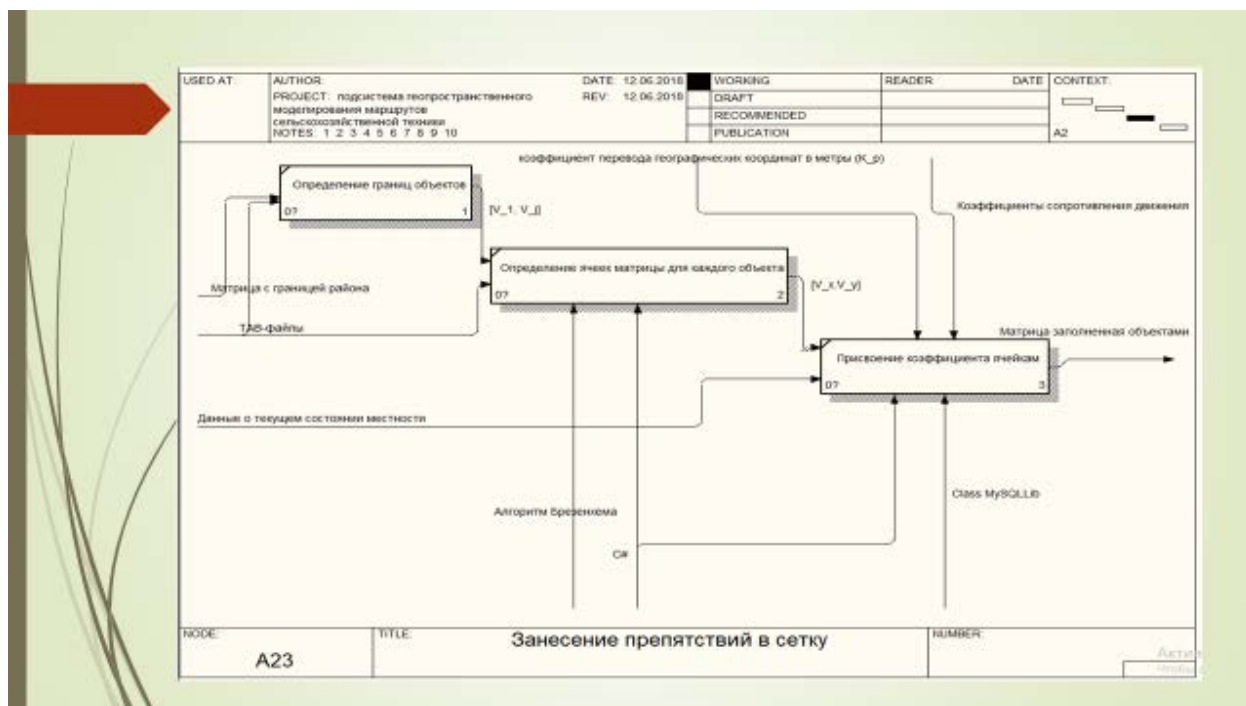


Рисунок А.15 – Слайд презентации №15

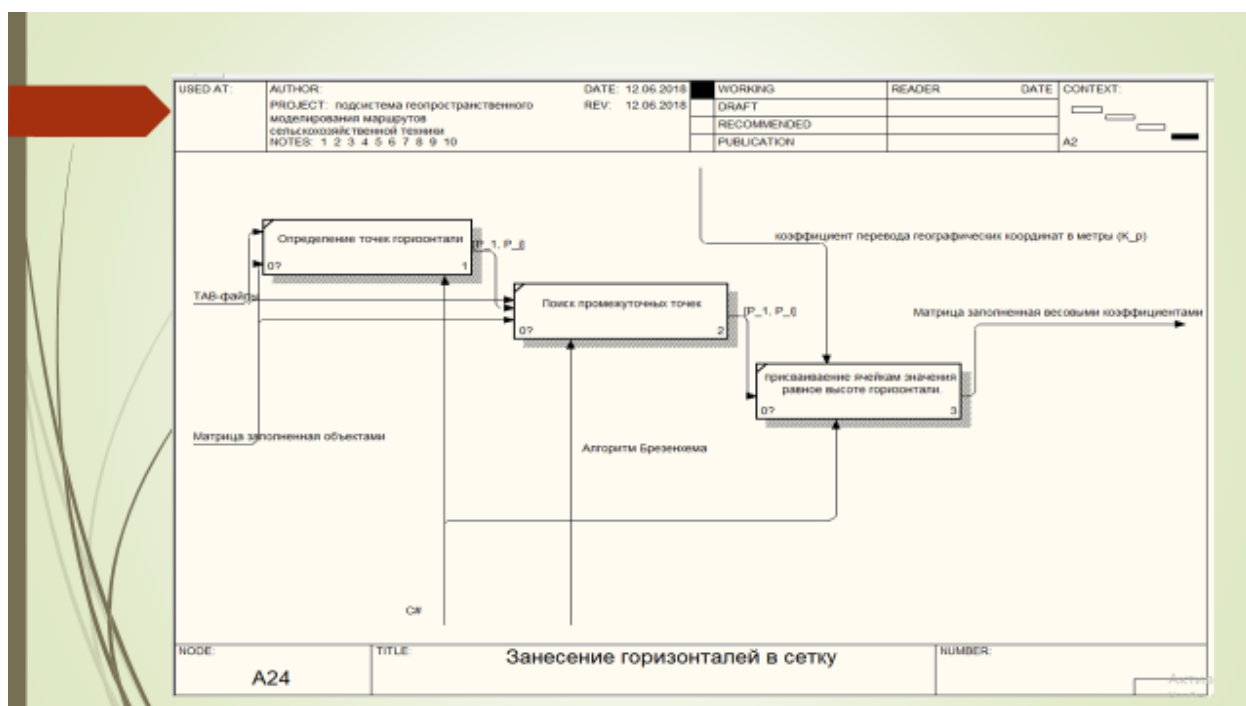


Рисунок А.16 – Слайд презентации №16



Рисунок А.17 – Слайд презентации №17



Рисунок А.18 – Слайд презентации №18



Рисунок А.19 – Слайд презентации №19

Редактирование объекта

	IdObject	IdObjectType	IdFigureType	Description	K
1	22	5	2	Проселочная дорога	1.5

Характеристики дороги

	IdObject	MaxWidht	K_weight
1	22	10	2

Рисунок А.20 – Слайд презентации №20

работа ЛПР с подсистемой

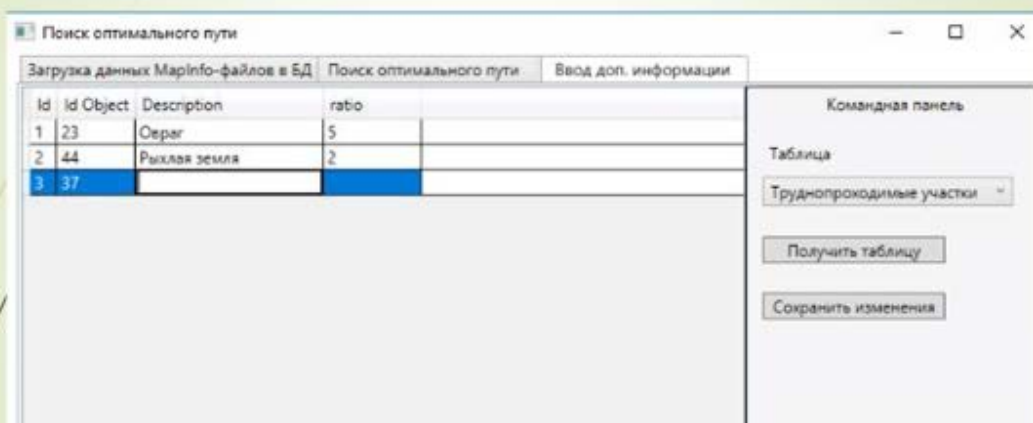


Рисунок А.21 – Слайд презентации №21

Отображение оперативной информации

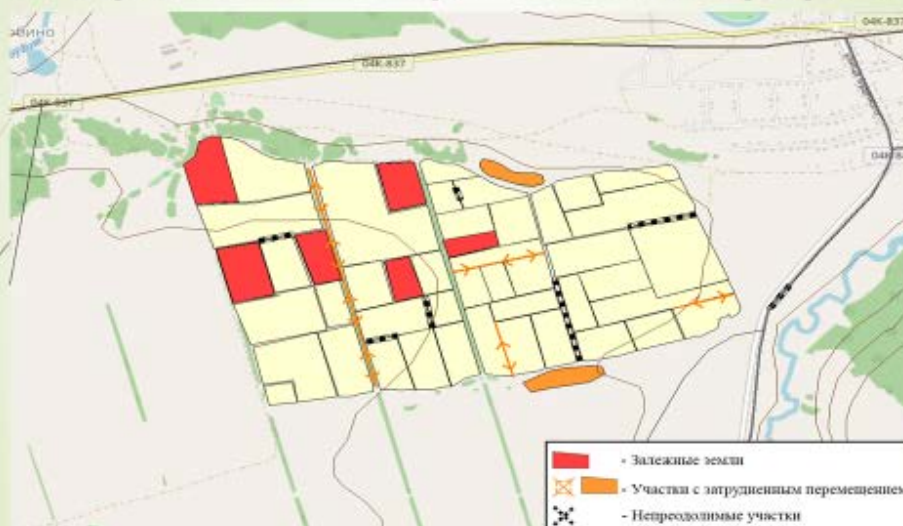


Рисунок А.22 – Слайд презентации №22

Выбор параметров поиска

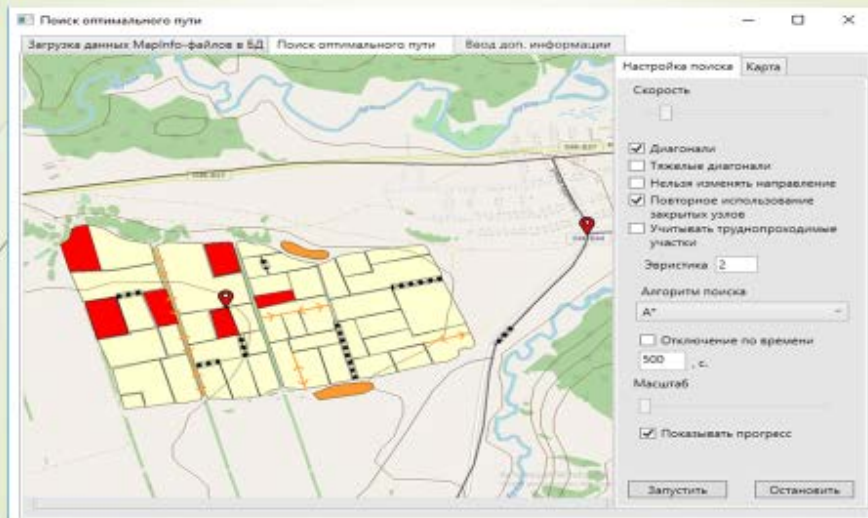


Рисунок А.23 – Слайд презентации №23

Маршрут без учета обхода затрудненных участков

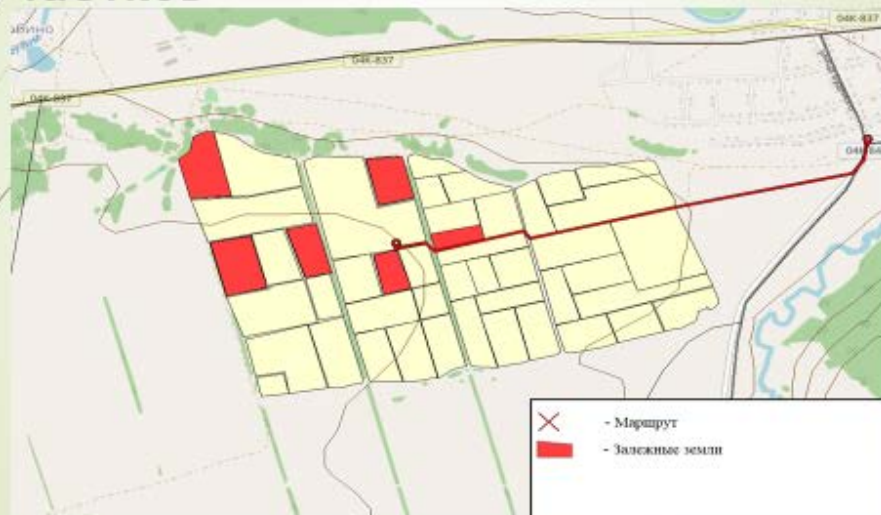


Рисунок А.24 – Слайд презентации №24



Рисунок А.25 – Слайд презентации №25

Расчет маршрута с учетом затрат ГСМ

Показатель	Значение	Единица измерений
$P_{уд}$, удельный расход топлива	162	гр/(л.с.*ч)
$M_{дв}$, мощность двигателя	235	л.с.
$V_{max, t}$, максимальная скорость техники	22	км/ч
$Mass$, масса транспортного средства	12590	кг

Рисунок А.26 – Слайд презентации №26

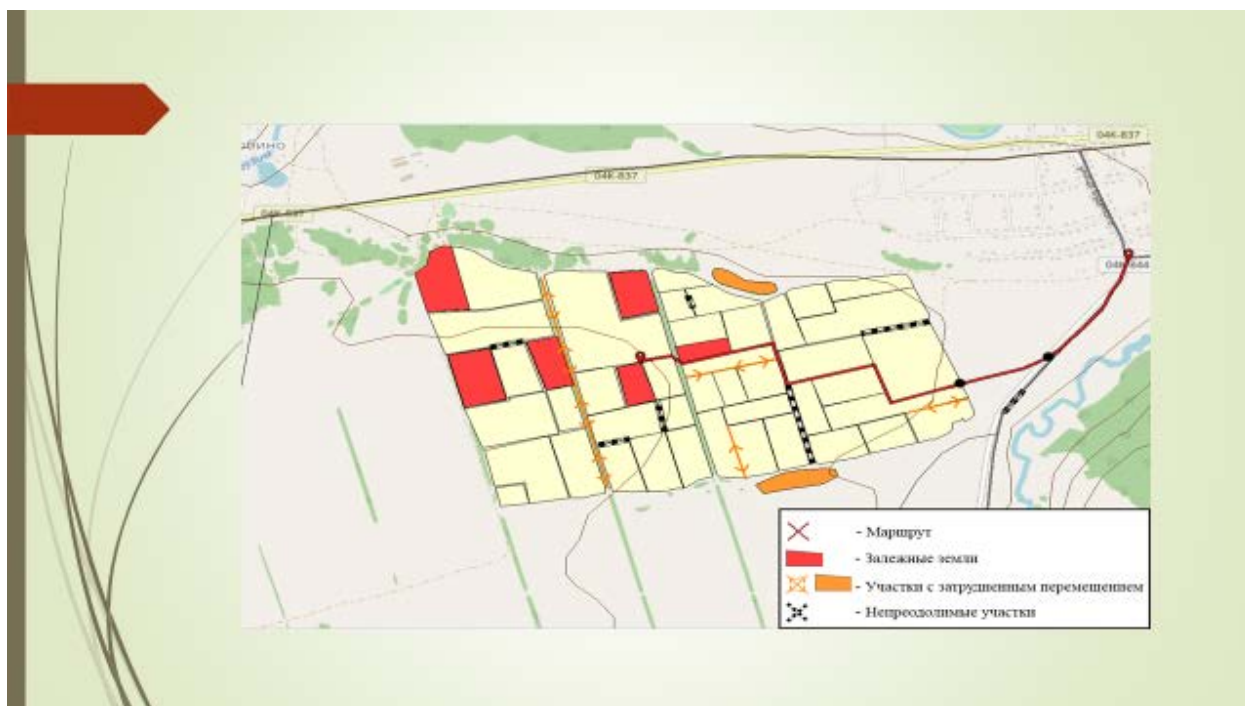


Рисунок А.27 – Слайд презентации №27

Расчеты экономической эффективности проложенного маршрута

Показатель	Расчетное значение
T_1	$T_1 = S_1 / v_{\max,1} = 0,75 / 22 = 0,034 \text{ час}$
T_2	$T_2 = S_2 / v_{\max,2} = 0,375 / 17,6 = 0,021 \text{ час}$
T_3	$T_3 = S_3 / v_{\max,3} = 1,875 / 11 = 0,17 \text{ час.}$
$T_{\text{общ}}$	$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2 + T_3 = 0,034 + 0,021 + 0,17 = 0,225 \text{ час}$
$P_{\text{час}}$	$P_{\text{час}} = P_{\text{уд}} * M_{\text{дв}} = 162 * 235 = 38,07 \text{ кг/ч}$
$Z_{\text{гсм}}$	$Z_{\text{гсм}} = P_{\text{час}} * T_{\text{общ}} = 38,07 * 0,225 = 8,57 \text{ кг}$
$Z_{\text{гсм,л}}$	$Z_{\text{гсм,л}} = Z_{\text{гсм}} * K_{\text{гсм}} = 8,57 * 1,16 = 9,94 \text{ литра}$
$Z_{\text{гсм,р}}$	$Z_{\text{гсм,р}} = Z_{\text{гсм,л}} * K_{\text{л}} = 9,94 * 46,14 = 458,63 \text{ руб.}$

Рисунок А.28 – Слайд презентации №28

Результаты эксперимента

Дата	Вид работы	расстояние от исходной точки до целевого объекта, км.			количество ед. техники	количество заездов для 1 ед.техники	сумма расстояний от исходной точки до целевого объекта, км.		
		данные за прошлый год	прогнозируемое с учетом преград	фактически пройденное			данные за прошлый год	прогнозируемое с учетом преград	фактически пройденное
01.05.2018	вспашка	3,31	2,96	3	7	2	46,34	41,44	42
02.05.2018	вспашка	3,12	3,01	3,06	6	2	37,44	36,12	36,72
03.05.2018	вспашка	2,92	3,09	3	10	2	58,4	61,8	60
04.05.2018	вспашка	3,11	2,96	2,85	9	2	55,98	53,28	51,3
07.05.2018	вспашка	3,04	2,96	3	10	2	60,8	59,2	60
08.05.2018	вспашка	3,37	3	3,1	8	2	53,92	48	49,6
09.05.2018	боронование	3,15	3,01	3	10	2	63	60,2	60
10.05.2018	боронование	3,43	3,01	3	10	2	68,6	60,2	60
11.05.2018	боронование	2,92	3,09	3	6	3	52,56	55,62	54
14.05.2018	боронование	2,87	2,97	2,95	6	2	34,44	35,64	35,4
15.05.2018	внесение удобрений	3,19	2,94	2,9	7	2	44,66	41,16	40,6
16.05.2018	внесение удобрений	3,03	2,98	3	5	2	30,3	29,8	30
17.05.2018	внесение удобрений	3,31	3	3	6	2	39,72	36	36
18.05.2018	внесение удобрений	3,10	2,94	2,9	5	2	31	29,4	29
21.05.2018	внесение удобрений	3,33	3,08	3,14	9	2	59,94	55,44	56,52
22.05.2018	посев	3,49	3,09	3,15	8	2	55,84	49,44	50,4
23.05.2018	посев	3,17	3,09	3	8	2	50,72	49,44	48
24.05.2018	посев	3,25	3,03	3,05	10	2	65	60,6	61
25.05.2018	посев	3,24	2,9	2,97	6	2	38,88	34,8	35,64
28.05.2018	посев	3,40	2,96	2,92	6	2	40,8	35,52	35,04
29.05.2018	посев	3,41	3,05	3,07	8	2	54,56	48,8	49,12
30.05.2018	химическая защита всходов	3,00	2,94	2,99	10	2	60	58,8	59,8
31.05.2018	химическая защита всходов	3,39	3,06	3	8	2	54,24	48,96	48

Рисунок А.29 – Слайд презентации №29

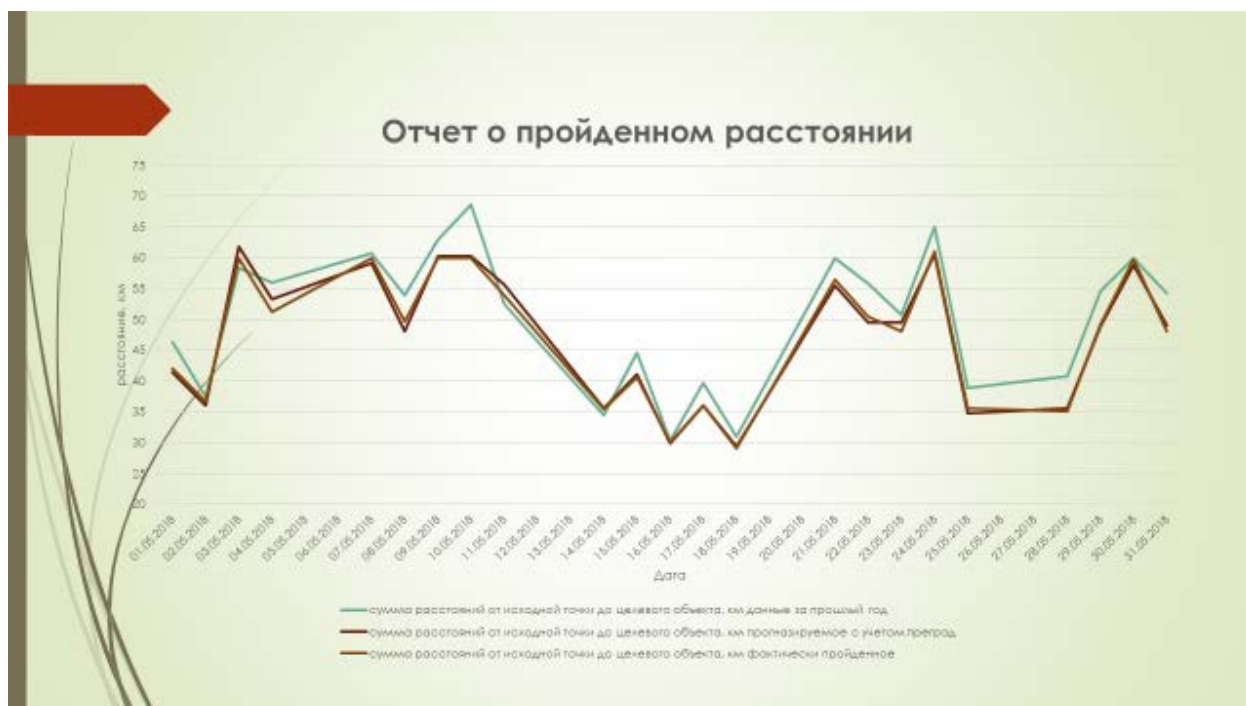


Рисунок А.30 – Слайд презентации №30